Les Aventures d'Anselme Lanturlu

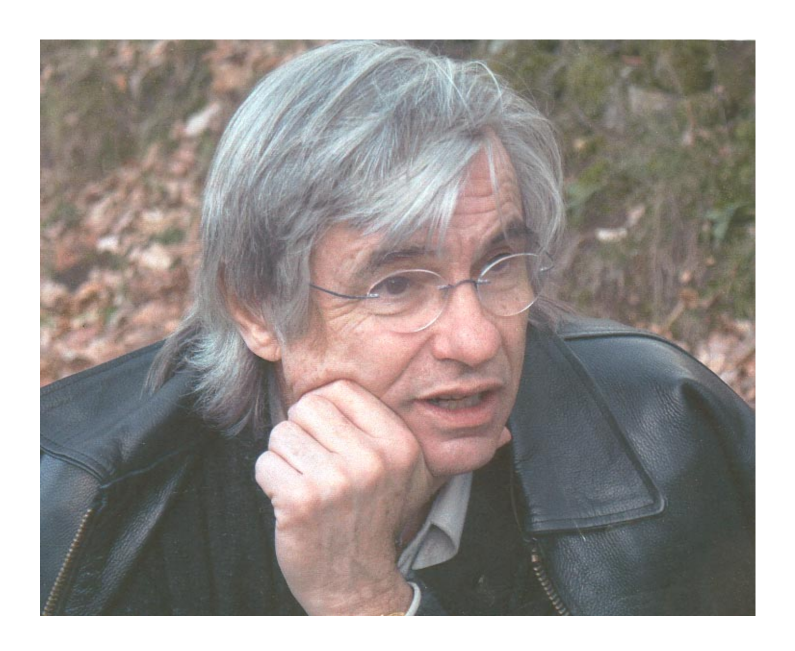
Et Pour Quelques Ampères de Plus

Jean-Pierre Petit



Savoir sans Frontières

Association Loi de 1901



Jean-Pierre Petit, Président de l'Association

Ancien Directeur de Recherche au Cnrs, astrophysicien, créateur d'un genre nouveau : la Bande Dessinée Scientifique. Crée en 2005 avec son ami Gilles d'Agostini l'association Savoir sans Frontières qui s'est donnée pour but de distribuer gratuitement le savoir, y compris le savoir scientifique et technique à travers le monde. L'association, qui fonctionne grâce à des dons, rétribue des traducteurs à hauteur de 150 euros (en 2007) en prenant à sa charge les frais d'encaissement bancaire. De nombreux traducteurs accroissent chaque jour le nombre d'albums traduits (en 2007 : 200 albums gratuitement téléchargeables, en 28 langues, dont le Laotien et le Rwandais).
Le présent fichier pdf peut être librement dupliqué et reproduit, en tout ou en partie, utilisé par les enseignants dans leurs cours à conditions que ces opérations ne se prêtent pas à des activités lucratives. Il peut être mis dans les bibliothèques municipales, scolaires et universitaires, soit sous forme imprimée, soit dans des réseaux de type Intranet.
L'auteur a entrepris de compléter cette collection par des albums plus simples d'abord (niveau 12 ans). Egalement en cours d'élaboration : des albums « parlants » pour analphabètes et « bilingues » pour apprendre des langues à partir de sa langue d'origine.
L'association recherche sans cesse de nouveaux traducteurs vers des langues qui doivent être leur langue maternelle, possédant les compétences techniques qui les rendent aptes à produire de bonne traductions des albums abordés.

Pour contacter l'association, voir sur la homepage de son site

http://www.savoir-sans-frontieres.com

Coordonnées bancaires France ➔ Relevé d'Identité Bancaire (RIB) :

Etablissement	Quichet	N° de Compte	Cle RIB
20041	01008	1822226V029	88

Domiciliation : La banque postale
Centre de Marseille
13900 Marseille CEDEX 20
France

For other countries ➔ International Bank Account Number (IBAN) :

IBAN
FR 16 20041 01008 1822226V029 88

and ➔ Bank Identifier Code (BIC) :

BIC
PSSTFRPPMAR

Les statuts de l'association (en français) sont accessibles sur son site. La comptabilité y est accessible en ligne, en temps réel. L'association ne prélève sur ces dons aucune somme, en dehors des frais de transfert bancaire, de manière que les sommes versées aux traducteurs soient nettes.

L'association ne salarie aucun de ses membres, qui sont tous des bénévoles. Ceux-ci assument eux-mêmes les frais de fonctionnement, en particulier de gestion du site, qui ne sont pas supportés par l'association.

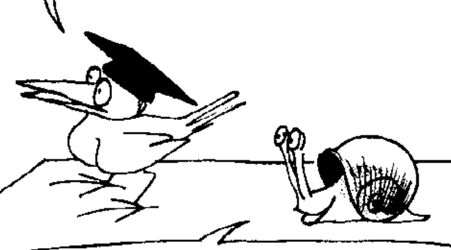
Ainsi, vous pourrez être assurés, dans cette sorte « d'œuvre humanitaire culturelle » que quelle que soit la somme que vous donniez, elle sera *intégralement* consacrée à rétribue les traducteurs.

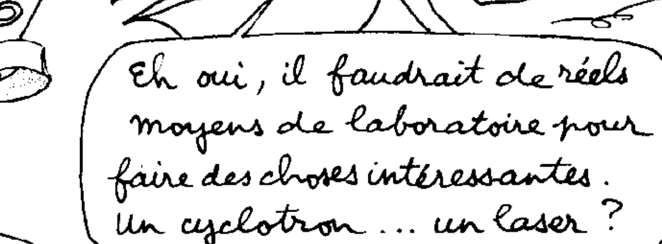
Nous mettons en ligne en moyenne une dizaine de nouvelles traductions par mois.

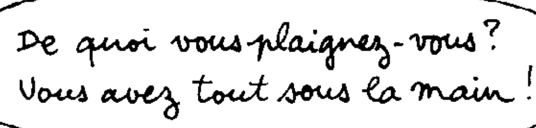

A QUOI RÊVENT LES ROBOTS?
ROBOTIQUE
A ton avis, à quoi cela peut-il leur servir ?
LE MUR DU SILENCE
MAGNÉTOHYDRODYNAMIQUE
MÉCANIQUE DES FLUIDES SUPERSONIQUES
Voler à vitesse supersonique sans bang, c'est impossible !
ELLE COURT, ELLE COURT, L'INFLATION
ÉCONOMIE
tiens, l'entropie a encore augmenté
WALL STREET JOURNAL
ÉNERGÉTIQUEMENT VÔTRE
NUCLÉAIRE
tu restes si tu veux, moi je m'en vais.
LE TOPOLOGICON
TOPOLOGIE
ciel ! mon mari !
!!!
COSMIC STORY
HISTOIRE DE LA COSMOLOGIE
Après Andromède, c'est de suite à gauche. Vous ne pouvez pas vous tromper.
Une nouvelle invention du patron : ça s'appelle une Galaxie.
MILLE MILLIARDS DE SOLEILS
ASTROPHYSIQUE


α+β+γ>180° !?!
LE GÉOMÉTRICON
GÉOMÉTRIE DES ESPACES COURBES
SI ON VOLAIT?
MÉCANIQUE DES FLUIDES SUBSONIQUES
Je ne vous vois pas dans mon programme.
L'INFORMAGIQUE
INFORMATIQUE
TOUT EST RELATIF
RELATIVITÉ RESTREINTE
quand on fait des expériences c'est qu'on n'est pas vraiment sûr de soi.
LE TROU NOIR
RELATIVITÉ GÉNÉRALE
BIG BANG
NAISSANCE DE L'UNIVERS
à quoi sert l'Univers?!?
Si cet univers est le meilleur des univers possibles, que sont donc les autres?

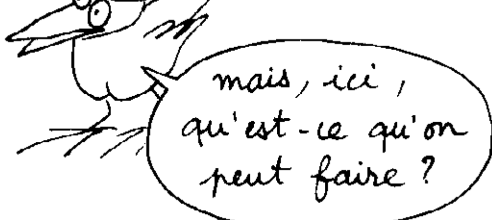




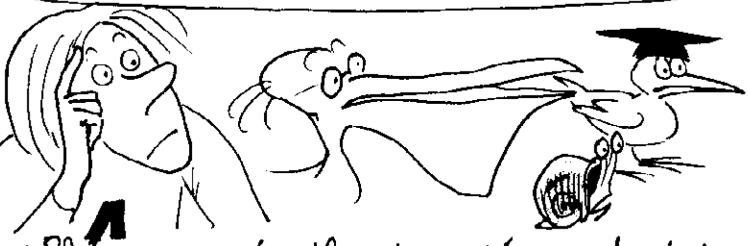








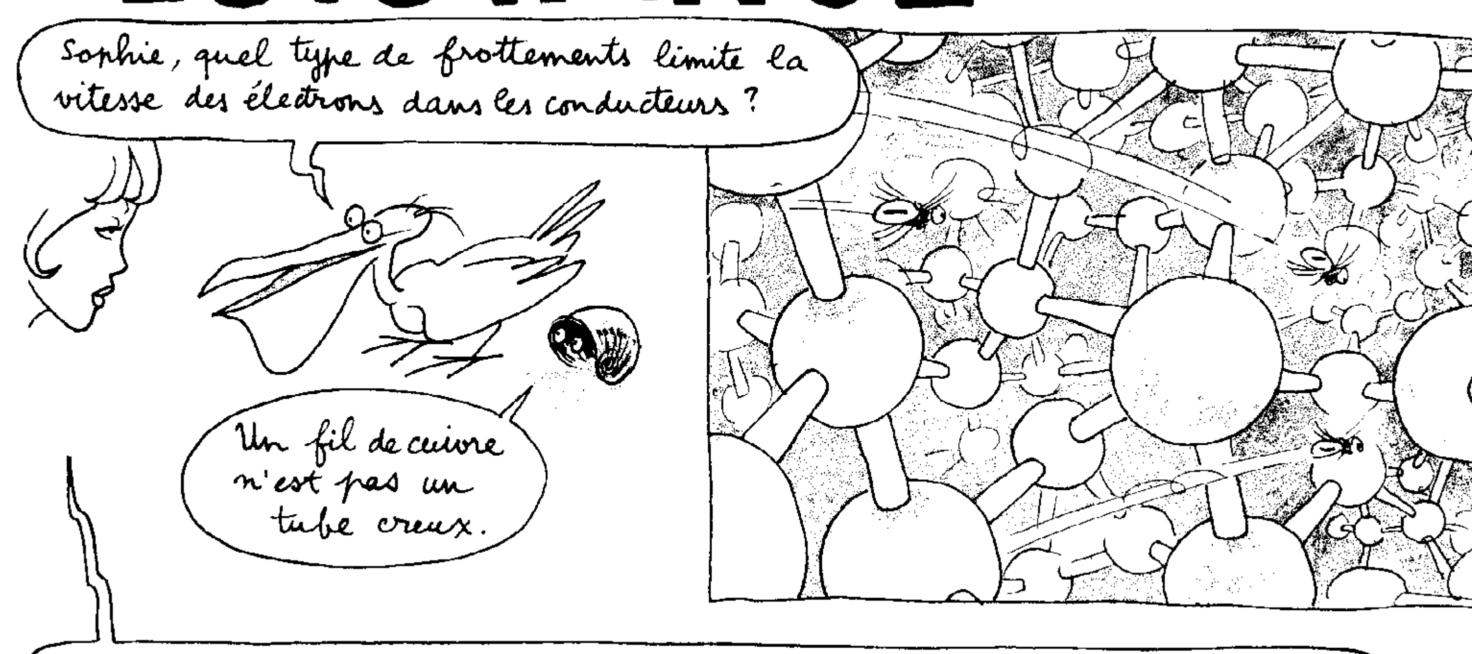




(*) Physicien néo zélandais; découvrit l'atome en 1905.


Bon. Ne paniquons pas
Le filament chauffe parce qu'
un COURANT ÉLECTRIQUE
le traverse...
C'est quoi, le
courant électrique,
déjà ?..
NULS ! vous
êtes tous nuls !
Hum, tout
se complique...
Pourquoi est-ce que le filament chauffe ?
INTENSITÉ
Un appareil pour les
lavements, récupéré au
grenier, un compteur
à eau déconnecté ....
Voyons, je crois qu'on peut
simuler cela à l'aide d'une
analogie hydraulique.
Je croyais les avoir
entendu parler
d'électricité ?..
Enfantin. Le dénivelé h
représente la DIFFÉRENCE
DE POTENTIEL.
Le tuyau représente la
RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE
Si L est sa longueur et
s sa section, le débit
est proportionnel à $\frac{hs}{L}$.
h
L
A
Si on double la
longueur du tuyau,
le débit est divisé
par deux.

RÉSISTANCE



Les atomes sont fixes dans un métal et forment une sorte de réseau. Il existe, à toute température, des électrons libres qui peuvent se déplacer dans ce réseau. Ce sont les collisions avec les atomes qui vont gêner la progression, donc créer cet effet de **RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE**.

Mais pourquoi est-ce que le métal chauffe ?

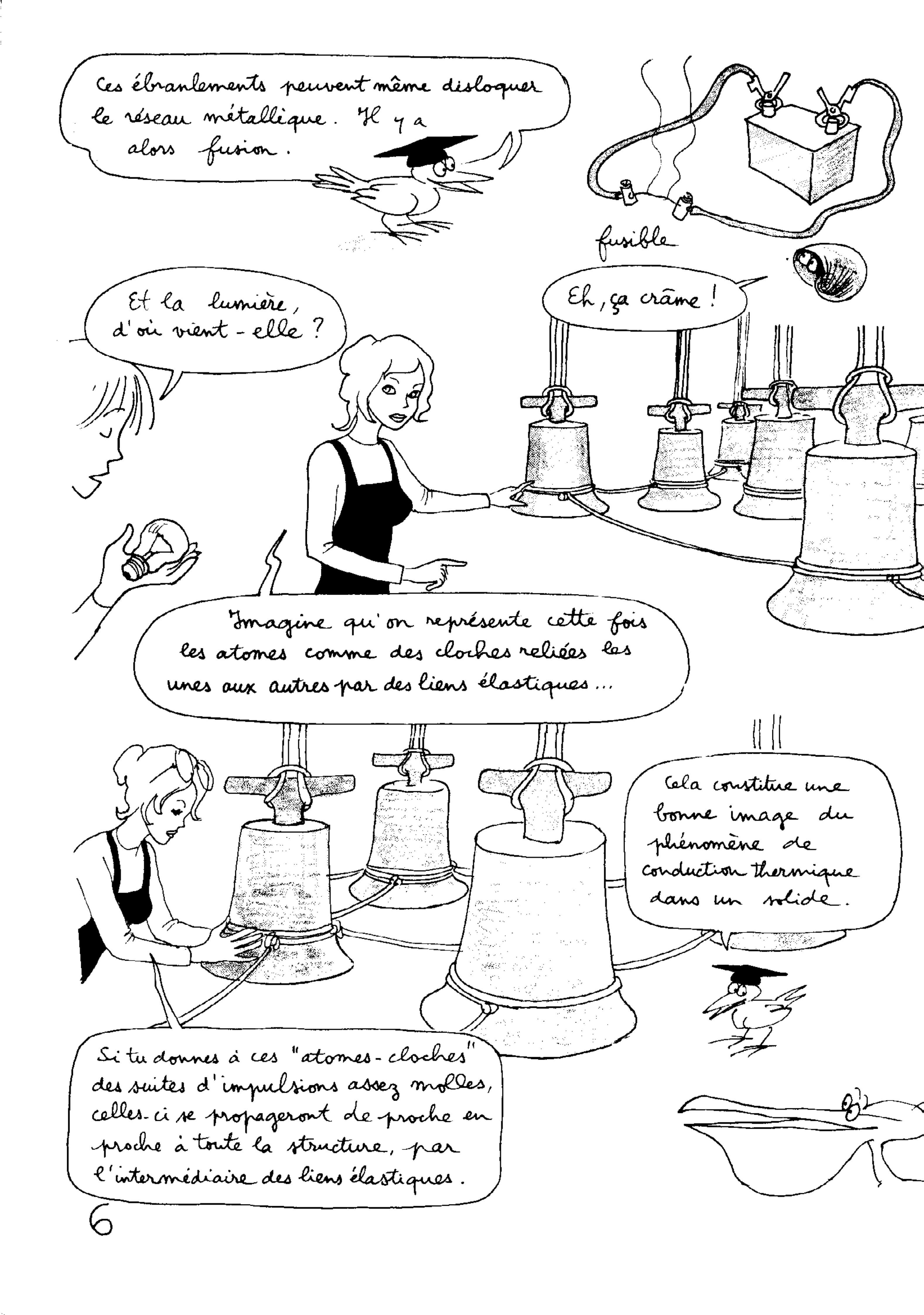
Ces collisions ébranlent la structure atomique, et ces ébranlements se propagent de proche en proche, en constituant un effet de **CONDUCTION THERMIQUE**

A

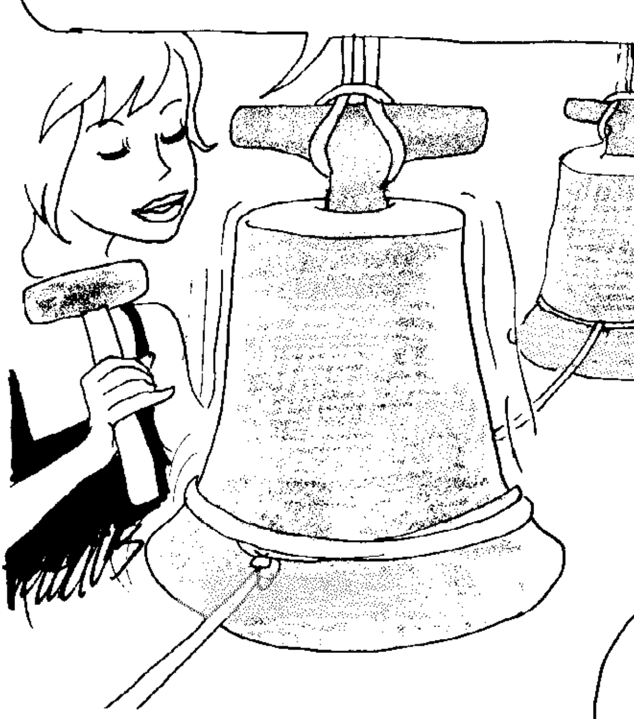
Ah oui, c'est ce qu'on appelle **L'EFFET JOULE**...

tout s'éclaire

... mais cela n'explique pas pourquoi le filament d'une lampe émet de la lumière...


Ces ébranlements peuvent même disloquer le réseau métallique. Il y a alors fusion.
fusible
Eh, ça crâme !
Et la lumière, d'où vient-elle ?
Imagine qu'on représente cette fois les atomes comme des cloches reliées les unes aux autres par des liens élastiques...
Cela constitue une bonne image du phénomène de conduction thermique dans un solide.
Si tu donnes à ces "atomes-cloches" des suites d'impulsions assez molles, celles-ci se propageront de proche en proche à toute la structure, par l'intermédiaire des liens élastiques.

L'INCANDESCENCE

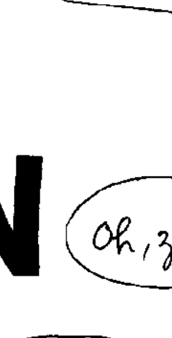






(*) Ce type de rayonnement non visible, émis par des corps se trouvant à des températures moyennes ou basses, est appelé rayonnement **INFRAROUGE**.





LE TUBE AU NÉON

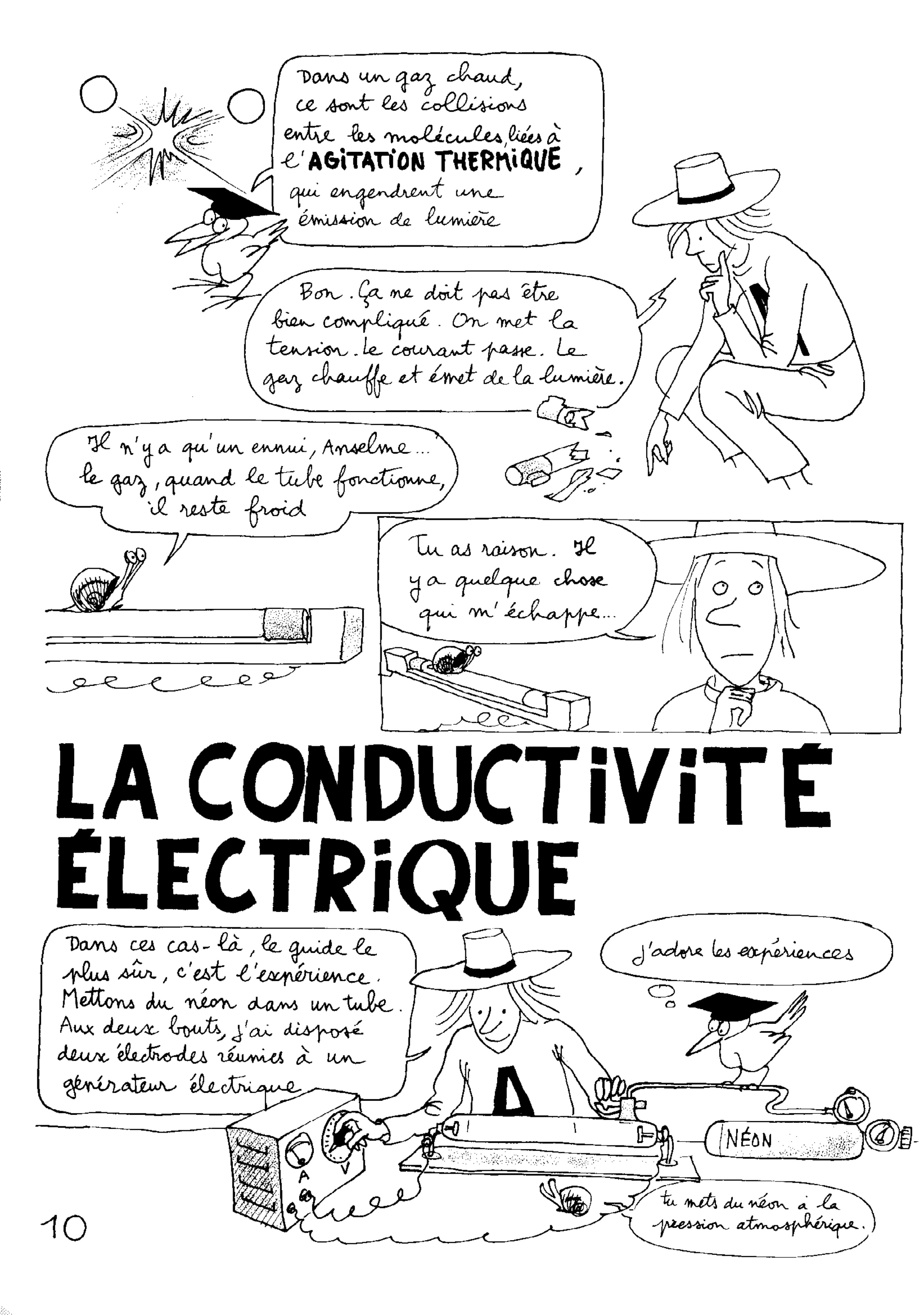




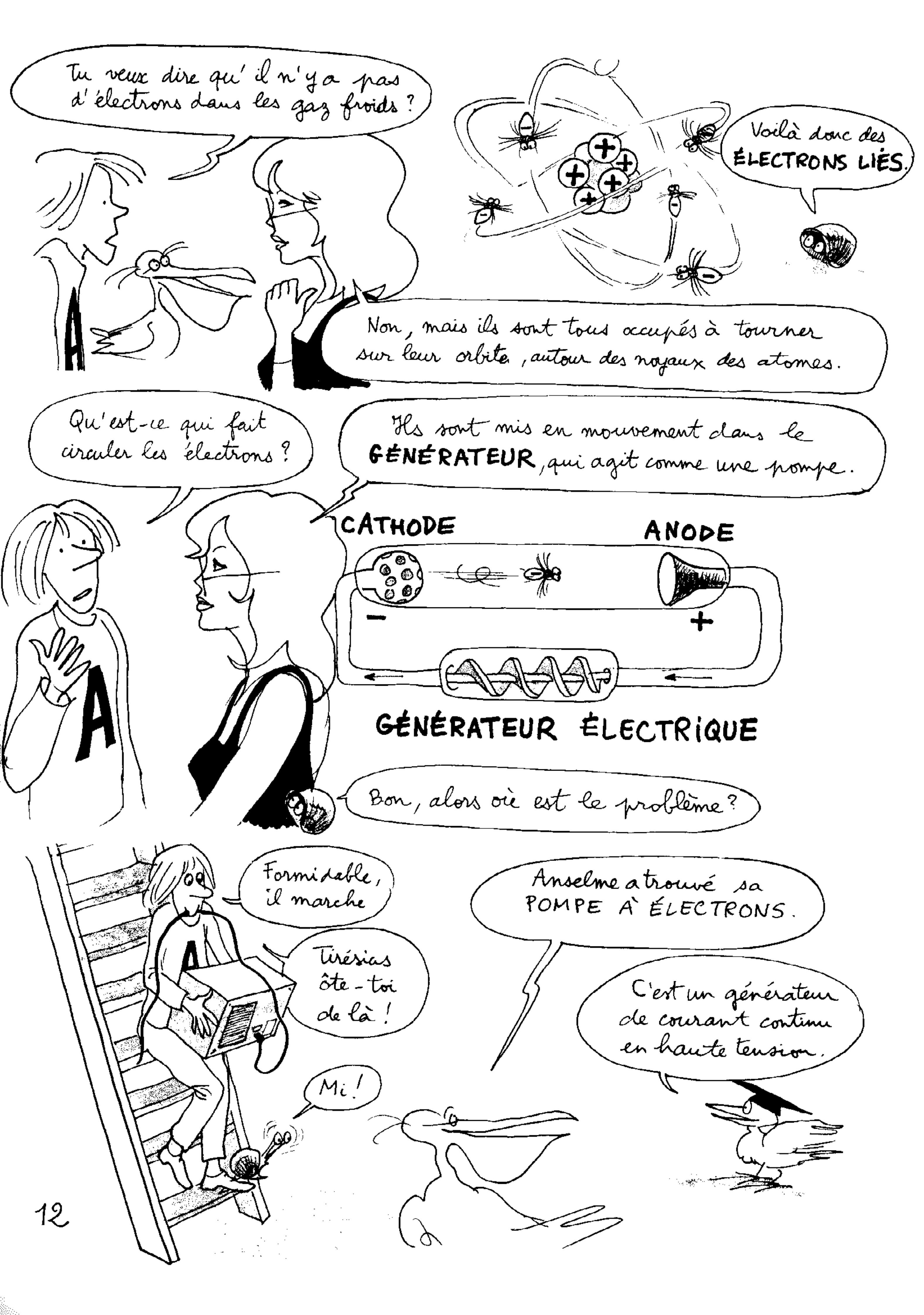







Dans un gaz chaud, ce sont les collisions entre les molécules, liées à l'AGITATION THERMIQUE, qui engendrent une émission de lumière
Bon. Ça ne doit pas être bien compliqué. On met la tension. Le courant passe. Le gaz chauffe et émet de la lumière.
Il n'y a qu'un ennui, Anselme... le gaz, quand le tube fonctionne, il reste froid
Tu as raison. Il y a quelque chose qui m'échappe...
LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE
Dans ces cas-là, le guide le plus sûr, c'est l'expérience. Mettons du néon dans un tube. Aux deux bouts, j'ai disposé deux électrodes réunies à un générateur électrique
j'adore les expériences
A
V
NÉON
tu mets du néon à la pression atmosphérique.


Deux cent vingt volts
Rien....
Deux mille volts,
Rien !?!
SOURCE TRÈS HAUTE TENSION
Vingt mille volts
RIEN !?!..
Pourtant, dans le tube au néon de la cuisine, il passe un ampère sous deux cent vingt volts !?
Question de feeling, peut-être ?
Sophie !
Dans un CONDUCTEUR, le passage du courant électrique s'effectue par un mouvement d'ÉLECTRONS LIBRES.
Or, dans le néon à la température ordinaire, il y en a extrêmement peu.
Et pourquoi le courant passe-t-il dans un métal ?
Parce qu'il est naturellement riche en électrons libres.

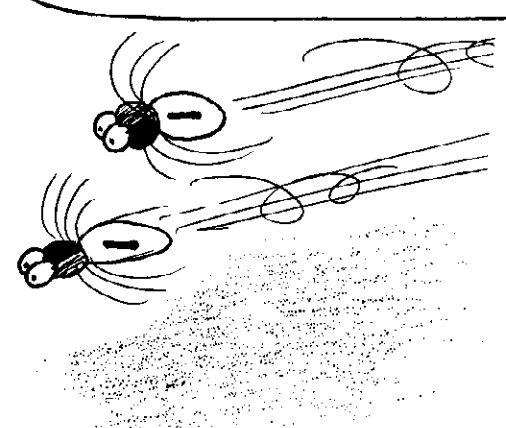

Tu veux dire qu'il n'y a pas d'électrons dans les gaz froids ?
Voilà donc des ÉLECTRONS LIÉS.
Non, mais ils sont tous occupés à tourner sur leur orbite, autour des noyaux des atomes.
Qu'est-ce qui fait circuler les électrons ?
Ils sont mis en mouvement dans le GÉNÉRATEUR, qui agit comme une pompe.
CATHODE
ANODE
GÉNÉRATEUR ÉLECTRIQUE
Bon, alors où est le problème ?
Formidable, il marche
Tirésias ôte-toi de là !
Mi !
Anselme a trouvé sa POMPE À ÉLECTRONS.
C'est un générateur de courant continu en haute tension.

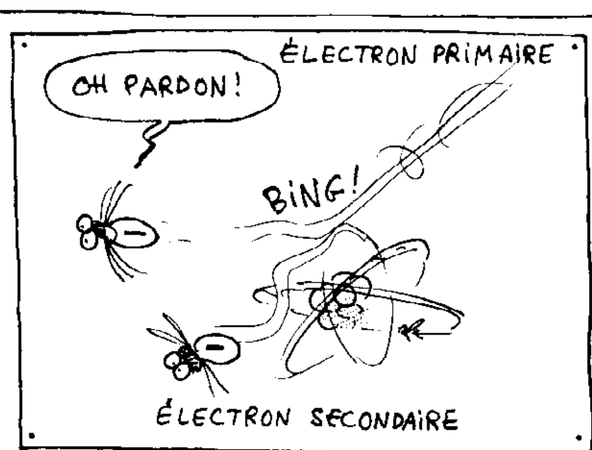
L'ARC ÉLECTRIQUE



L'AVALANCHE ÉLECTRONIQUE

Un générateur électrique crée entre ses électrodes un **CHAMP ÉLECTROMOTEUR** qui tend à mouvoir les électrons libres. Même dans les gaz à la température ordinaire, il en existe un petit nombre qui vont être violemment tirés, de la cathode vers l'anode. Accélérant entre deux collisions avec les atomes, ces électrons, dits primaires, vont acquérir assez d'énergie (cinétique) pour pouvoir arracher des électrons liés à ces atomes, et les transformer en nouveaux électrons libres.

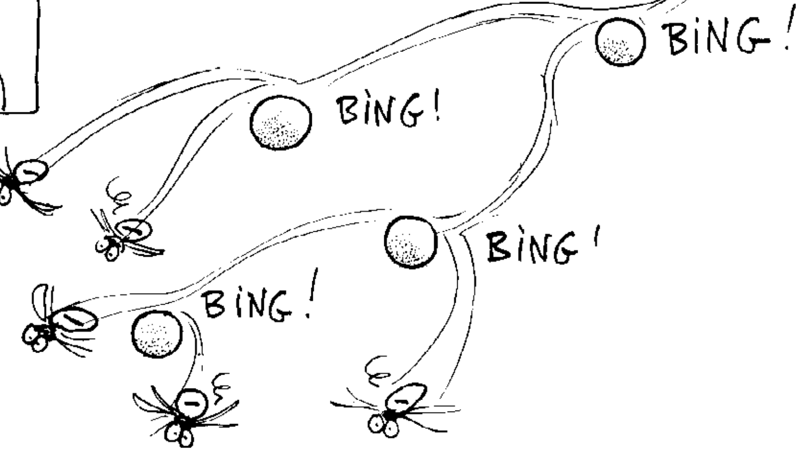




Chaque électron arraché devient un **ÉLECTRON LIBRE**, qui se met aussitôt à accélérer également.

Chaque électron initial, primaire, pourra ainsi donner naissance à un très grand nombre de nouveaux électrons secondaires.

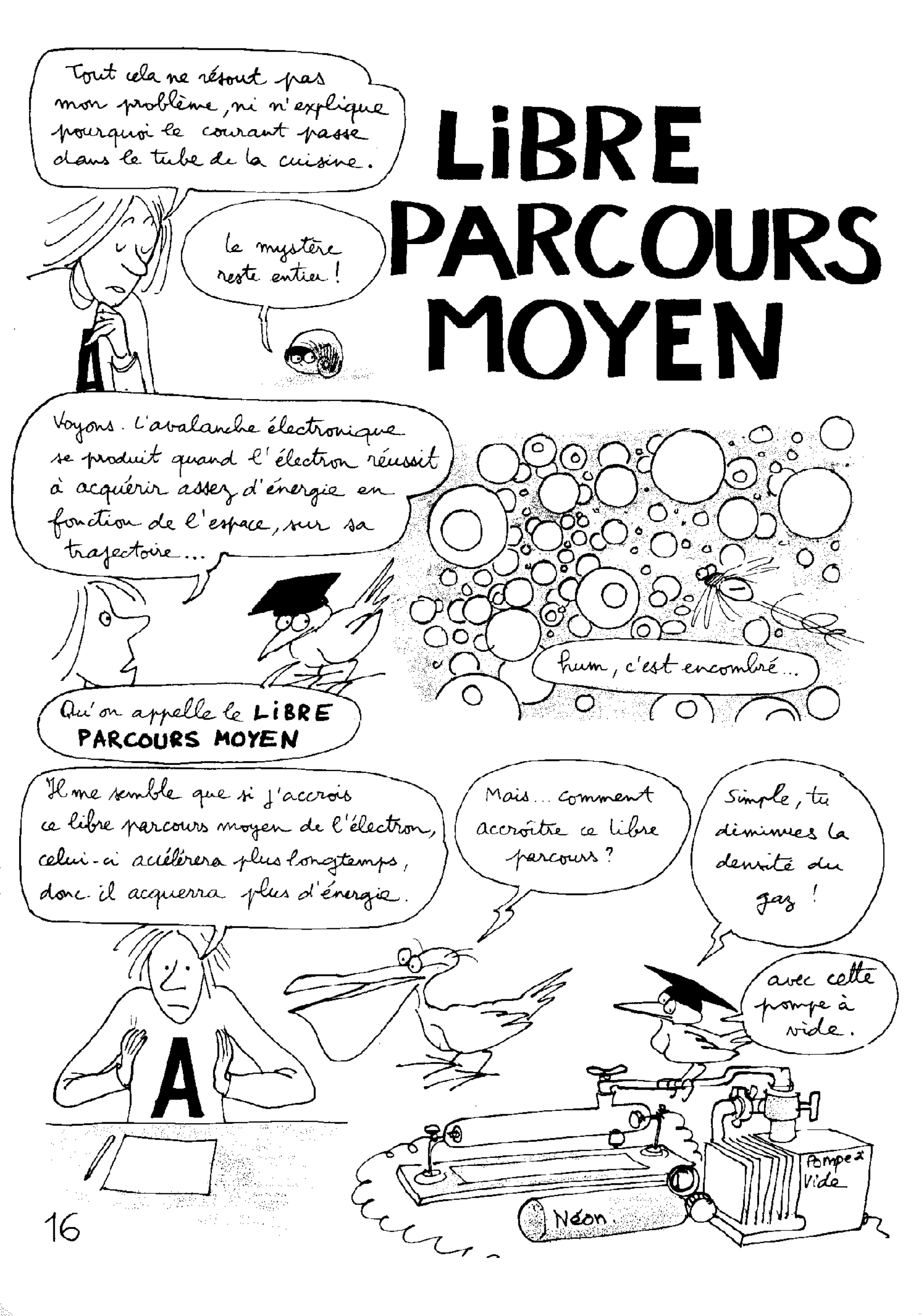




On appelle ceci l'**AVALANCHE ÉLECTRONIQUE**.




Dans l'expérience de tout à l'heure, ceci s'est traduit par une montée en flèche de l'intensité, du flux d'électrons
Autrement dit, le gaz situé entre les électrodes est devenu soudain très conducteur. le générateur, placé en situation de COURT-CIRCUIT, a cramé.
Dans l'air, ce CLAQUAGE se produit, à la pression atmosphérique, quand la différence de potentiel atteint 30.000 volts par centimètre.
Hmm ... ça se couvre.
BOUM !
L'ÉCLAIR est un arc électrique qui se produit quand la différence de potentiel entre un nuage et le sol dépasse le seuil de claquage.
Comment l'électricité peut-elle faire un tel bruit ?
Dans l'arc électrique, il y a un violent dégagement de chaleur qui donne naissance à une ONDE DE CHOC.


Tout cela ne résout pas mon problème, ni n'explique pourquoi le courant passe dans le tube de la cuisine.
le mystère reste entier !
LIBRE PARCOURS MOYEN
Voyons. L'avalanche électronique se produit quand l'électron réussit à acquérir assez d'énergie en fonction de l'espace, sur sa trajectoire...
hum, c'est encombré...
Qu'on appelle le LIBRE PARCOURS MOYEN
Il me semble que si j'accrois ce libre parcours moyen de l'électron, celui-ci accélérera plus longtemps, donc il acquerra plus d'énergie.
Mais... comment accroître ce libre parcours ?
Simple, tu diminues la densité du gaz !
avec cette pompe à vide.
Pompe à Vide
Néon


Je mets deux cents volts et je pompe.
PATAFLOUP
PATAFLOUP
PATAFLOUP
la pression descend.
Pompe à vide
Néon
MANOMÈTRE
Youpi!
Sophie, le tube s'allume!
La pression est tombée à un dix millième d'atmosphère.
le courant passe!
PATAFLOUP
PATAFLOUP
MANOMÈTRE
Avec une pression aussi basse et une densité aussi faible, une tension de deux cents volts, appliquée sur ce tube de cinquante centimètres, suffit à créer l'avalanche électronique

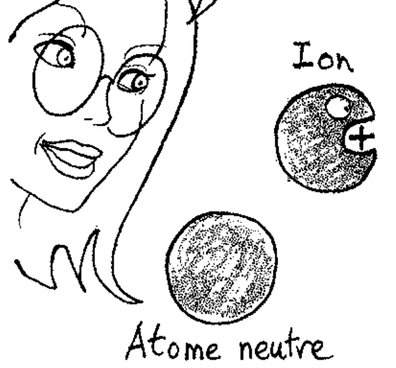
IONISATION DÉSIONISATION

Dans cette... avalanche, dont vous parlez, il y a création en continu d'électrons libres. Mais... si la décharge se prolonge, à la fin, il n'y a plus que des électrons libres, non ?

Non

Tous les atomes finissent par s'ioniser ?

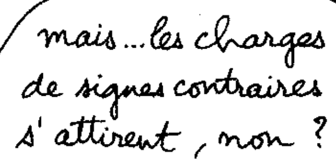
Tu vois, Léon, tout électron qui quitte un atome laisse une charge positive orpheline, l'atome ainsi chargé étant appelé **ION**.



électron

Ion





Tout juste. Les électrons tendent donc sans cesse à retourner sur les ions, en les neutralisant. C'est le phénomène de **DÉSIONISATION**.

Alors que la création simultanée d'électrons libres et d'ions est le phénomène d'**IONISATION**.

Dans la désionisation, l'excès éventuel d'énergie cinétique est dissipé sous forme de rayonnement, qui contribue à l'émission de lumière du gaz.

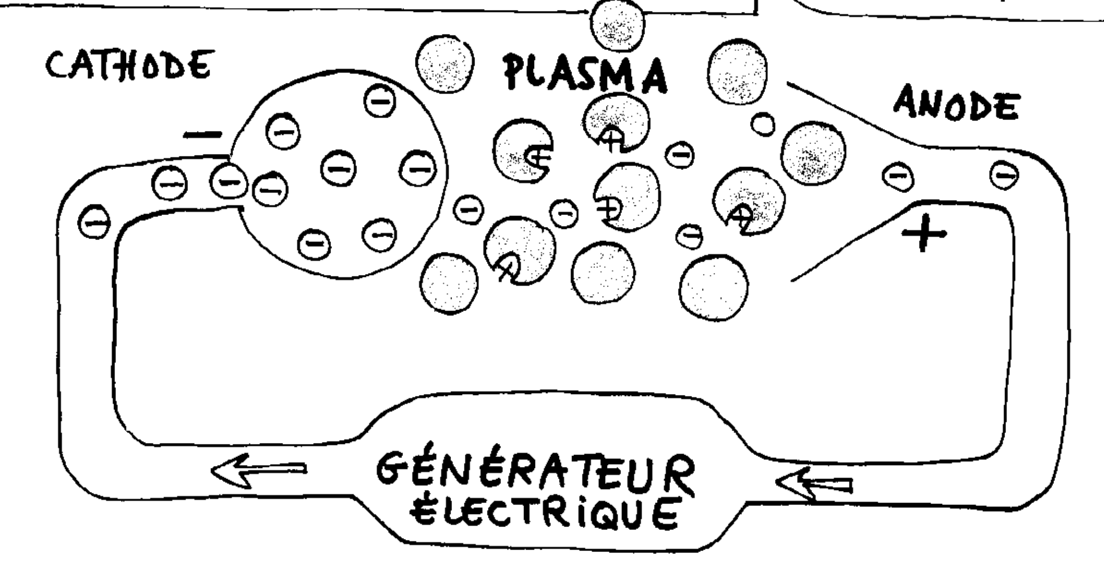


LE PLASMA

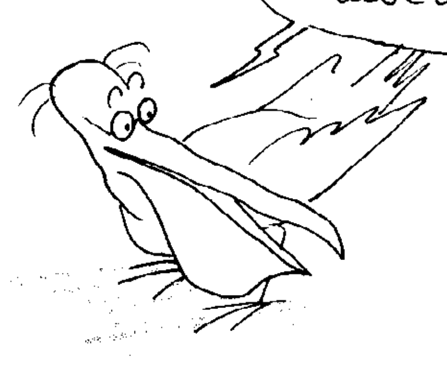
Résumons. Une espèce de pompe à électrons, appelée générateur électrique, enrichit une **CATHODE** en électrons. Cette charge cathodique agit sur les électrons du gaz en les accélérant et en créant sans cesse de nouveaux électrons libres par effet d'avalanche électronique. Lorsque les phénomènes d'**IONISATION** et de **DÉSIONISATION** s'équilibrent, on obtient un mélange d'ions, d'électrons et d'atomes neutres qu'on appelle **PLASMA**, électriquement neutre.



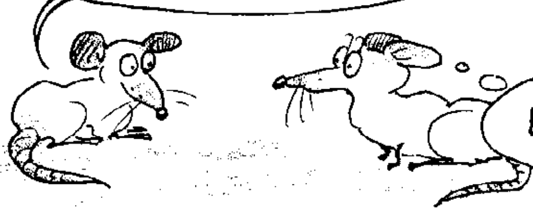
Le courant d'électrons circule. Ils sont émis par la cathode et collectés par l'anode.



Sacrebleu. Ainsi, quand j'allume un tube au néon, je crée un **PLASMA** !

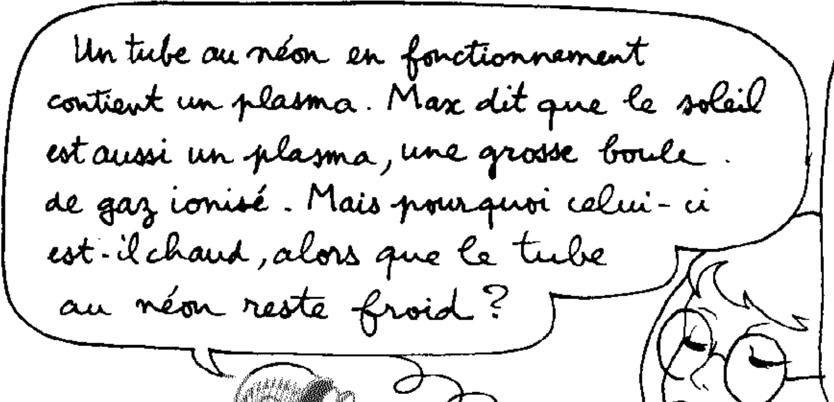


C'est fou ce qu'il y a dans une maison !



Un plasma !?

Un tube au néon en fonctionnement contient un plasma. Max dit que le soleil est aussi un plasma, une grosse boule de gaz ionisé. Mais pourquoi celui-ci est-il chaud, alors que le tube au néon reste froid ?



Dans ce type de plasma "froid", ce sont les chocs des électrons sur les atomes qui entretiennent l'ionisation, alors que dans le soleil ce sont les collisions entre atomes. Ceux-ci sont alors nécessairement très agités, ce qui veut dire que ce gaz est chaud.

Dans le tube au néon, on a une **IONISATION NON-THERMIQUE**.

Mais dans ce plasma, il y a deux sortes de charges : les électrons et les ions. En principe, la force électrique agit sur les deux, non ?

Exact. le champ électrique qui règne dans le tube et qui met les charges en mouvement tire les électrons dans un sens et les ions dans l'autre.

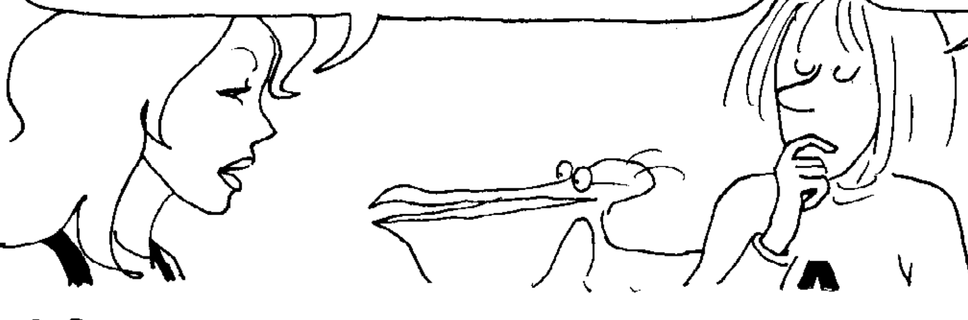
− +

CATHODE ANODE

le champ est dû à l'accumulation des électrons dans la cathode, due à la "pression" électronique.

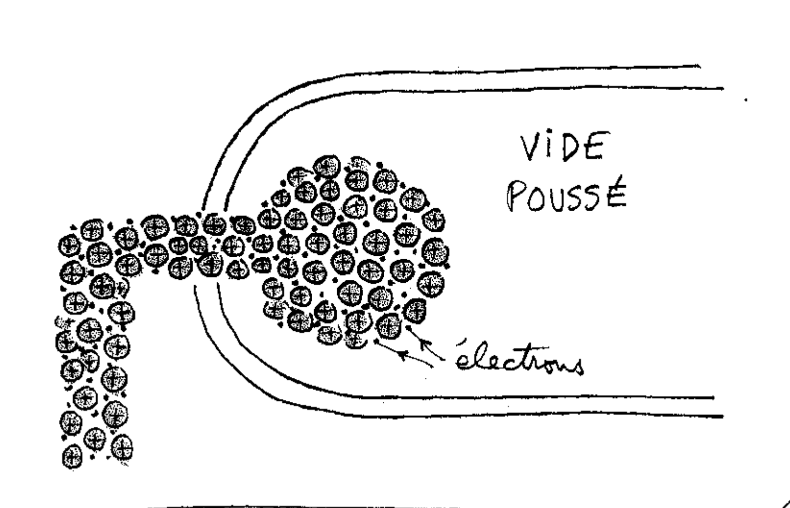
les collisions avec les atomes neutres freinent la progression des charges. Seuls les électrons, légers et mobiles, arrivent à se frayer un chemin dans cette cohue.

Ce qui veut dire que dans le tube au néon, le **COURANT IONIQUE** reste négligeable devant le **COURANT ÉLECTRONIQUE**.

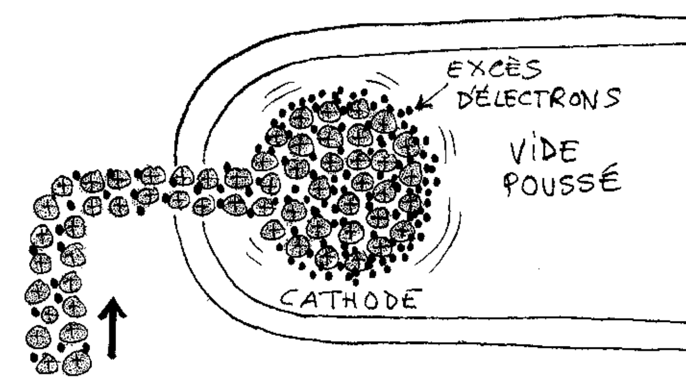


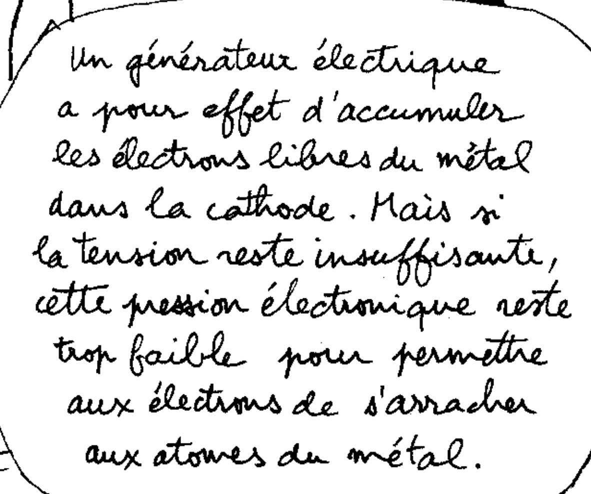



ÉMISSION CATHODIQUE
Qu'est-ce qui se passe si je baisse la pression jusqu'à faire le VIDE ?
On dirait que la lueur faiblit...
...l'intensité baisse.
PATAFLOP
PATAFLOP
PATAFLOP
POMPE À VIDE
Je ne comprends pas. A haute pression, rien ne marchait. Puis, à pression inférieure ça s'est mis à marcher. Mais maintenant, quand on continue de baisser cette pression le courant dégringole. On dirait que la cathode a de plus en plus de mal à cracher ses électrons.
pourquoi ?
AMPÈRES
A



La cathode est un morceau de métal constitué de noyaux d'atomes, chargés positivement, et d'électrons.





Atomes de la cathode

Tu viens, chéri ?

Ions du gaz

Par contre, s'il existe des atomes de gaz à l'état d'ions, ceux-ci faciliteront cette évasion électronique.

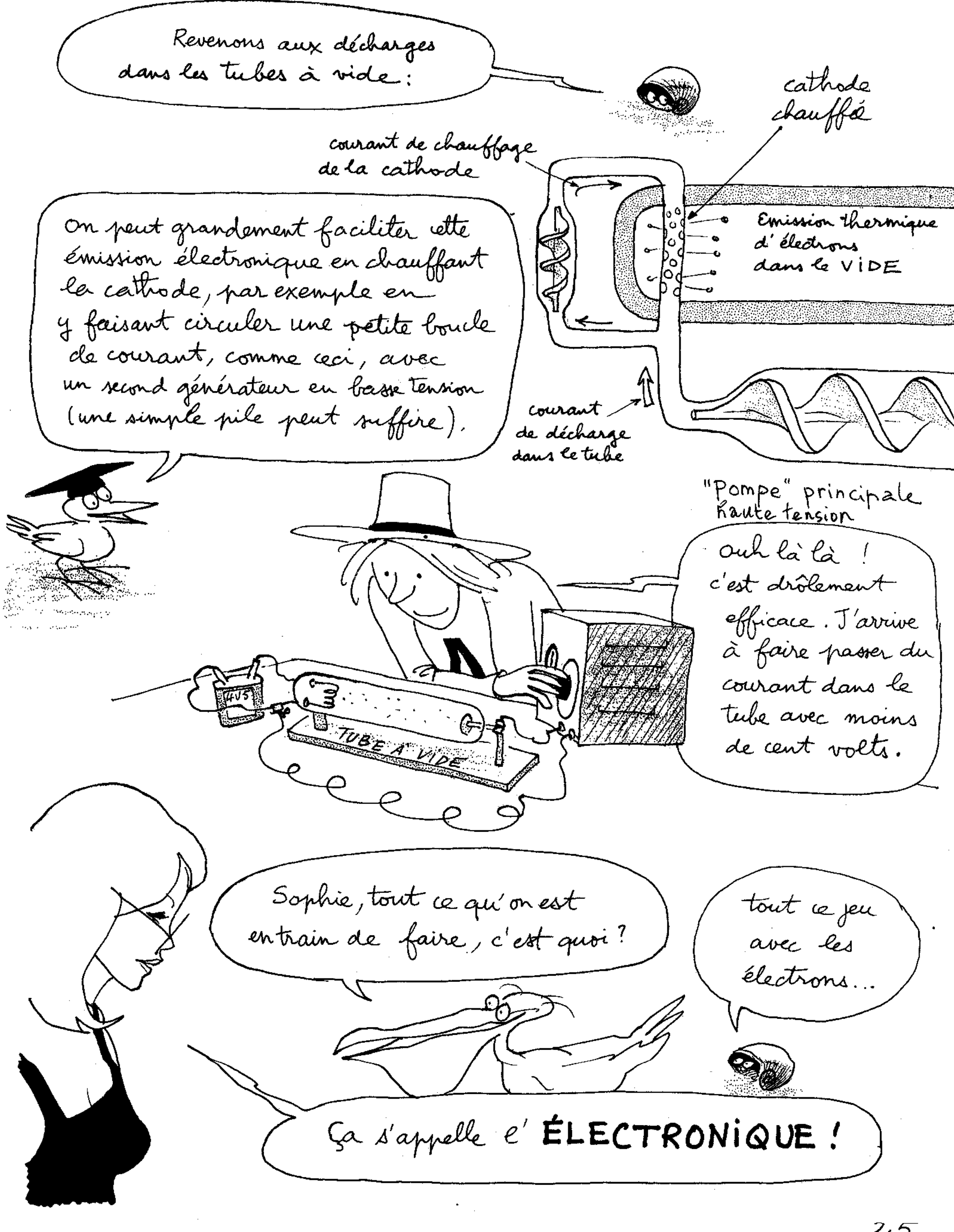
Mais si le gaz est trop dense, le courant ne passera pas non plus. Ce qui fait qu'il existe une pression optimale (*).

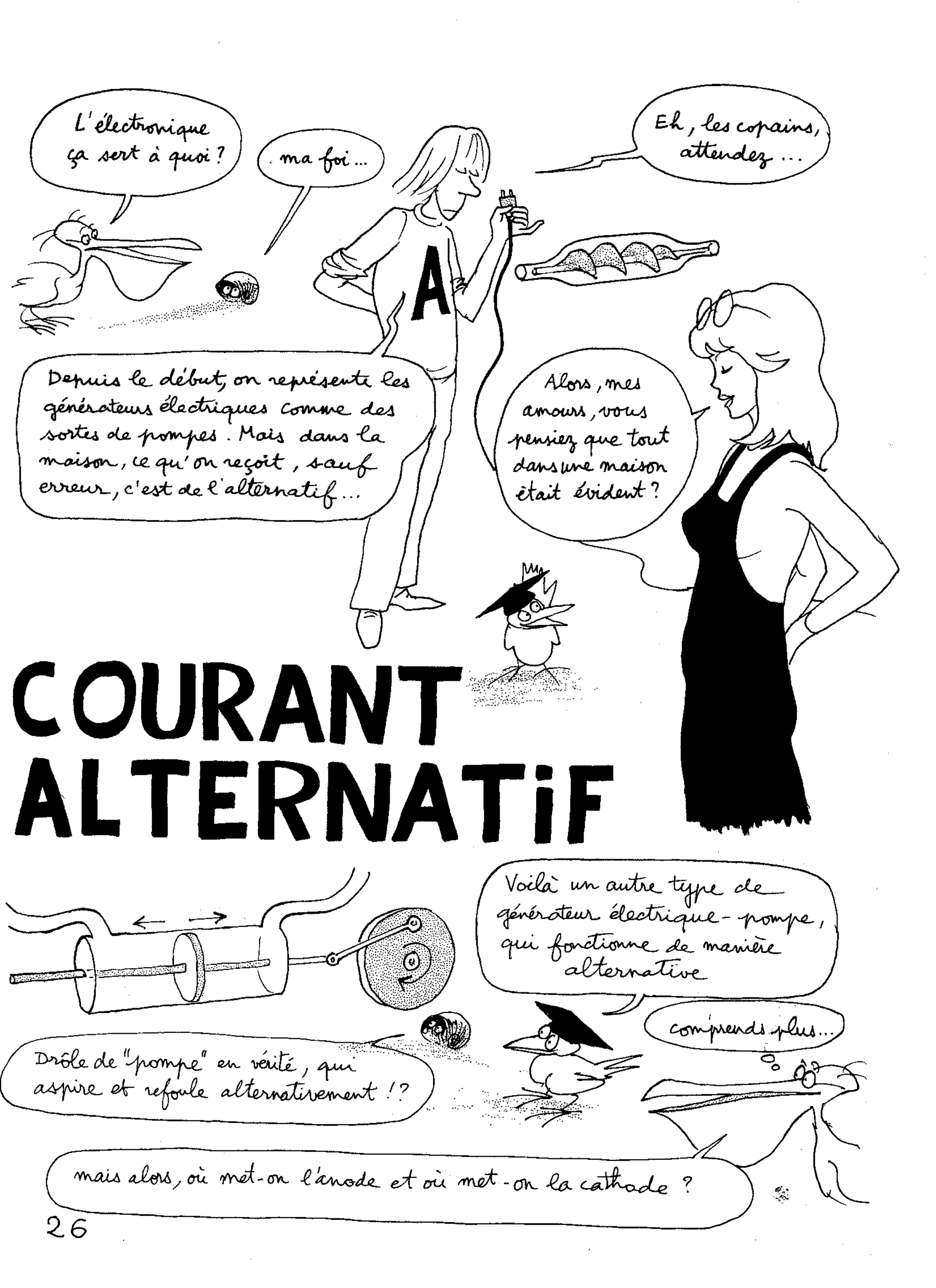
(*) le minimum de Paschen.


Quand dans le tube règne un vide poussé, il faut appliquer une tension de plusieurs milliers de volts pour faire émettre les électrons au compte-goutte par la cathode.
Cette tension ne dépend que du métal dont est fait cette cathode.
Ceci est un vieux pistolet PNEUMATIR
canon
magasin
Poire
membrane en caoutchouc percée d'un trou légèrement plus petit que le plomb.
Lorsqu'on presse sur la poire, la membrane se déforme et le plomb est éjecté avec force
PTIOUP
PTIOUP
Comme quand on crache un noyau de cerise.
Attention devant!
FTIOUP!
Quand une cathode émet, elle se comporte comme une sorte de passoire percée d'une multitude de petits trous à travers lesquels les électrons sont éjectés violemment par une "pression électronique".

L'EFFET DES POINTES

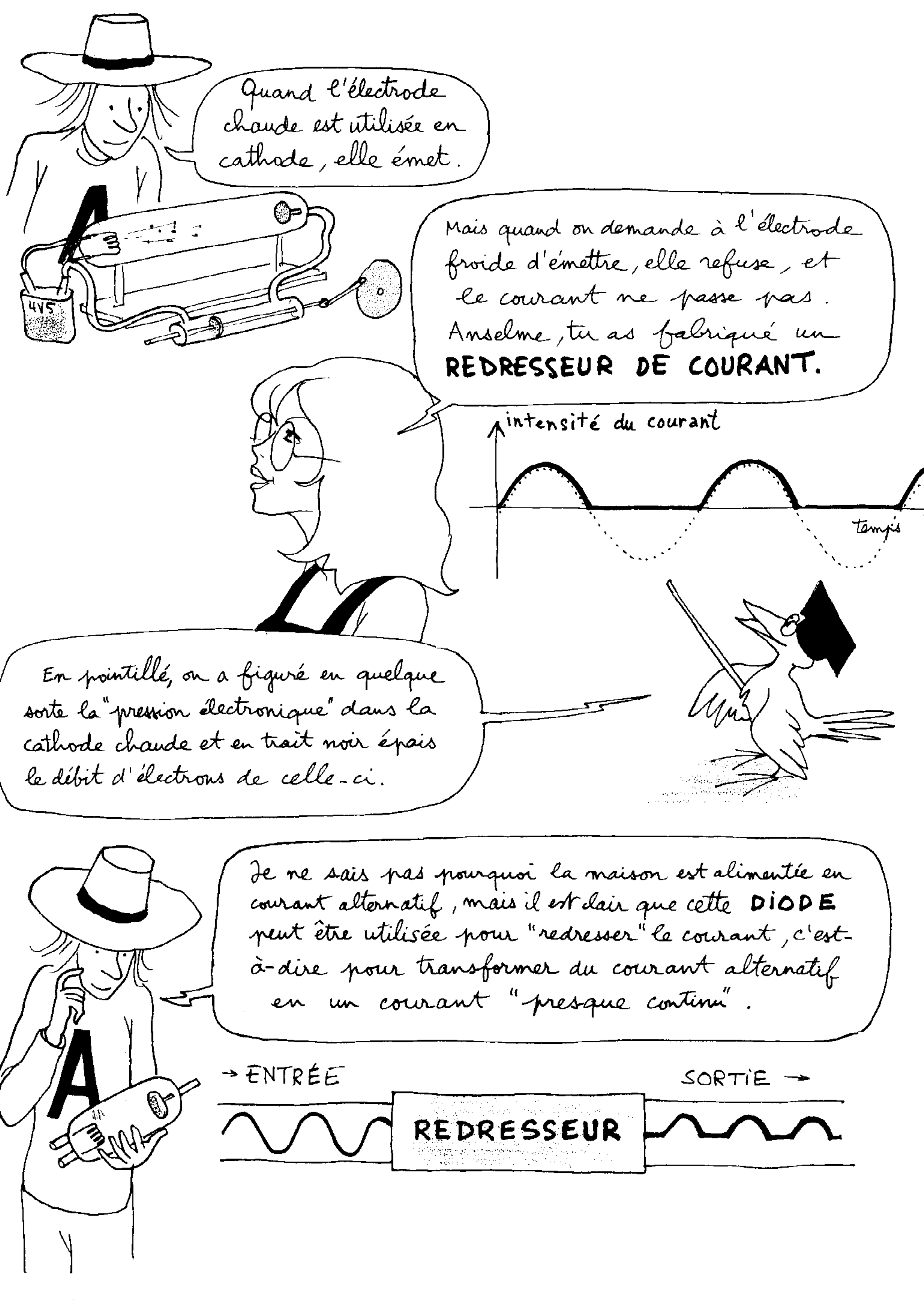



Revenons aux décharges dans les tubes à vide :
cathode chauffée
courant de chauffage de la cathode
On peut grandement faciliter cette émission électronique en chauffant la cathode, par exemple en y faisant circuler une petite boucle de courant, comme ceci, avec un second générateur en basse tension (une simple pile peut suffire).
Emission thermique d'électrons dans le VIDE
courant de décharge dans le tube
"Pompe" principale haute tension
Ouh là là ! c'est drôlement efficace. J'arrive à faire passer du courant dans le tube avec moins de cent volts.
4V5
TUBE À VIDE
Sophie, tout ce qu'on est en train de faire, c'est quoi ?
tout ce jeu avec les électrons...
Ça s'appelle l' ÉLECTRONIQUE !



L'électronique ça sert à quoi ?
ma foi ...
Eh, les copains, attendez ...
Depuis le début, on représente les générateurs électriques comme des sortes de pompes. Mais dans la maison, ce qu'on reçoit, sauf erreur, c'est de l'alternatif ...
Alors, mes amours, vous pensiez que tout dans une maison était évident ?
COURANT ALTERNATIF
Voilà un autre type de générateur électrique-pompe, qui fonctionne de manière alternative
Drôle de "pompe" en vérité, qui aspire et refoule alternativement !?
comprends plus ...
mais alors, où met-on l'anode et où met-on la cathode ?


Les électrodes jouent les deux rôles en alternance.
cathode
Anode
anode
cathode
Mais alors, tout ce qui a été dit précédemment peut s'adapter ?
L'avalanche électronique, l'ionisation non thermique et tout le bazar...
Hum, c'est logique, sinon je ne vois pas comment le tube au néon de la cuisine pourrait fonctionner avec du 220V alternatif.
LA DiODE
Mais, que se passe-t-il si j'envoie du courant alternatif sur le montage de tout à l'heure, avec une électrode chaude et une électrode froide ?
A


Quand l'électrode chaude est utilisée en cathode, elle émet.
4V5
Mais quand on demande à l'électrode froide d'émettre, elle refuse, et le courant ne passe pas. Anselme, tu as fabriqué un REDRESSEUR DE COURANT.
intensité du courant
temps
En pointillé, on a figuré en quelque sorte la "pression électronique" dans la cathode chaude et en trait noir épais le débit d'électrons de celle-ci.
Je ne sais pas pourquoi la maison est alimentée en courant alternatif, mais il est clair que cette DIODE peut être utilisée pour "redresser" le courant, c'est-à-dire pour transformer du courant alternatif en un courant "presque continu".
→ ENTRÉE
SORTIE →
REDRESSEUR

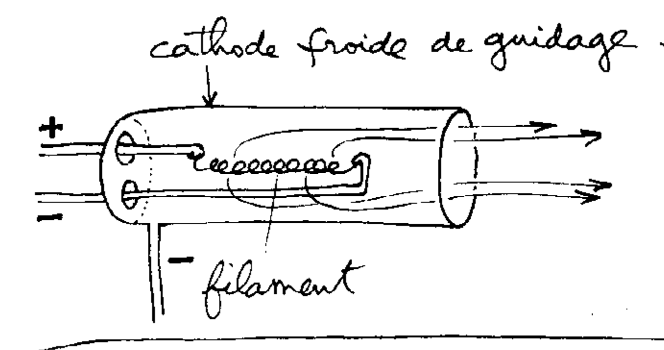


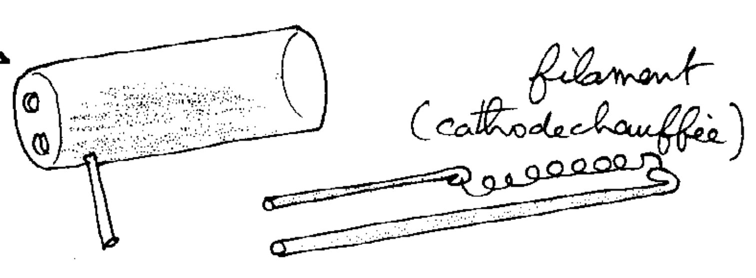
LE CANON À ÉLECTRONS

En somme, il y a deux sortes de cathodes et seule la cathode chaude peut émettre des électrons, débiter du courant. La cathode froide n'est qu'une porteuse de charges négatives



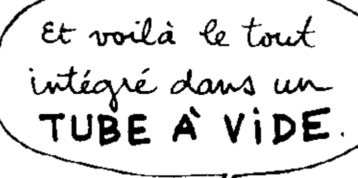
Ta cathode chaude émet des électrons dans toutes les directions.



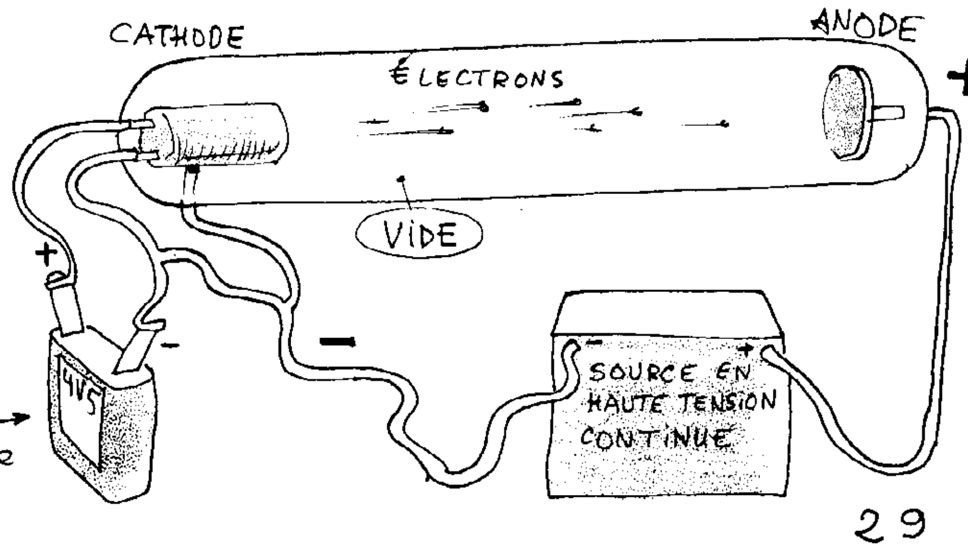


Avec cette cathode froide (dont le débit de courant est infime), Anselme contraint les électrons émis par la cathode chaude à sortir selon l'axe de ce **CANON À ÉLECTRONS** qui constitue pour eux la seule issue.



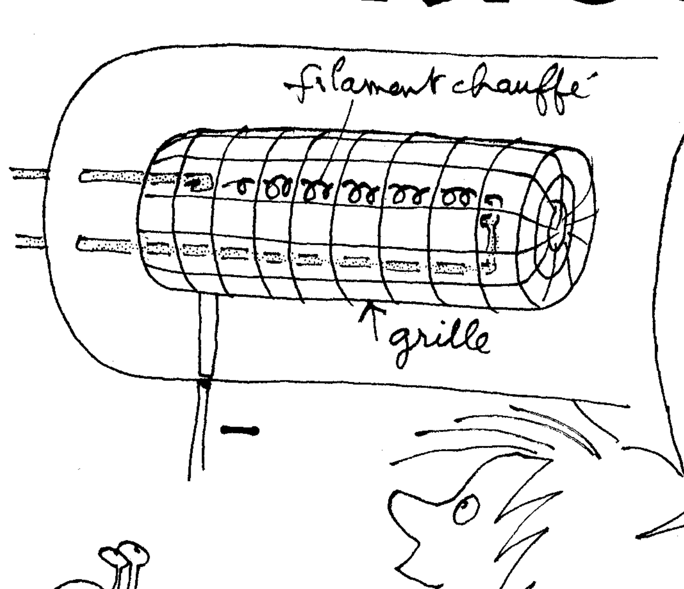






Source basse tension assurant le chauffage du filament-cathode

LA TRIODE

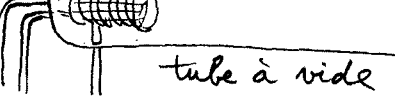


Regarde : j'ai enfermé ma cathode chaude, mon filament émetteur d'électrons, dans cette sorte de cage grillagée. Quand celle-ci n'est pas chargée, les électrons passent librement. Mais si je la charge négativement, elle repousse les électrons qui tentaient de s'arracher au filament et qui retombent J'annule le courant.

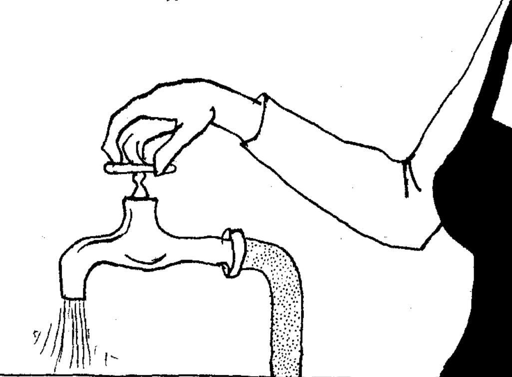
Tu as fabriqué une **GRILLE DE COMMANDE**.

En variant la charge électrique de ta grille, à travers sa tension, tu peux moduler à volonté un courant important en dépensant une énergie infime.



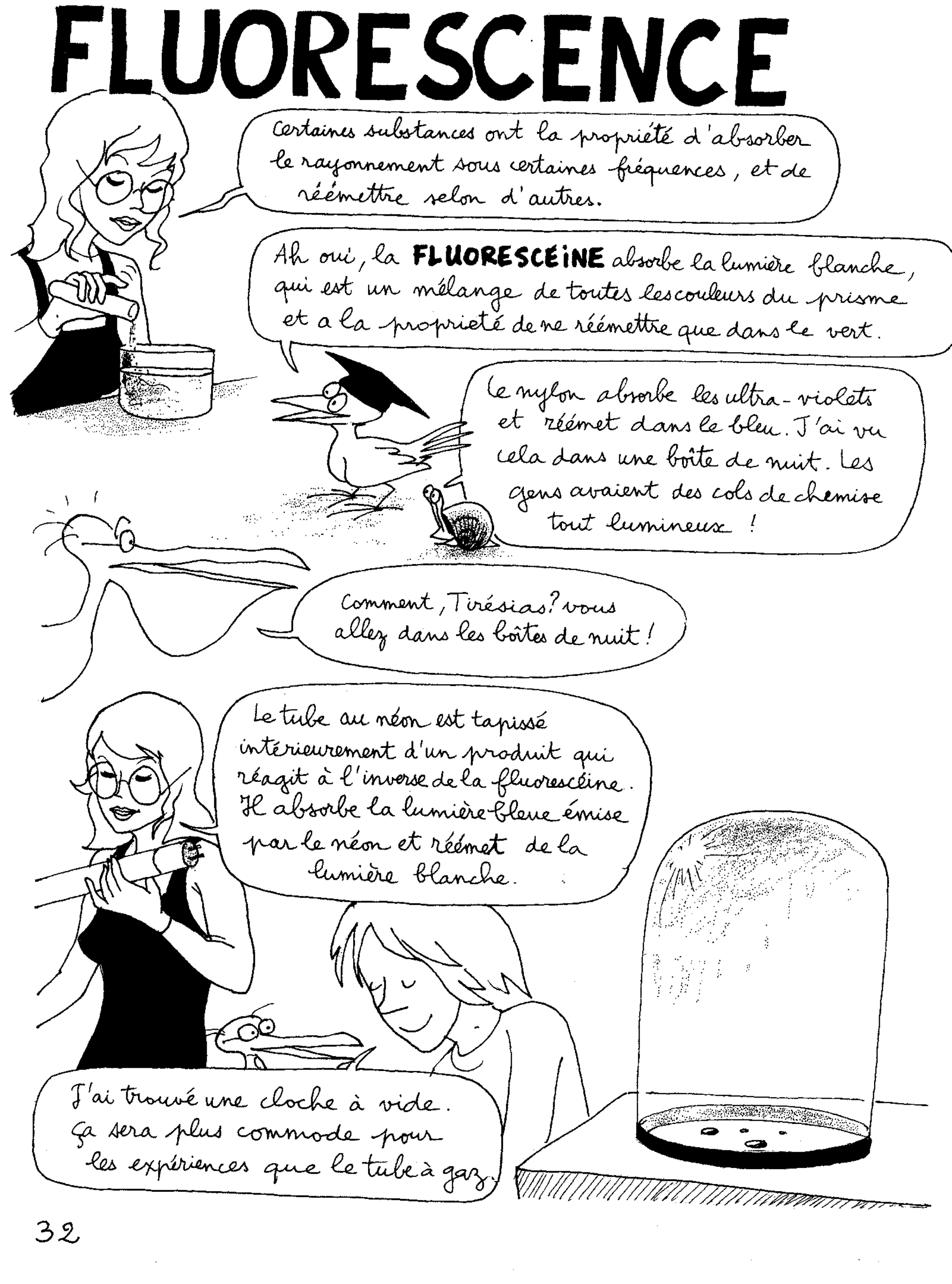


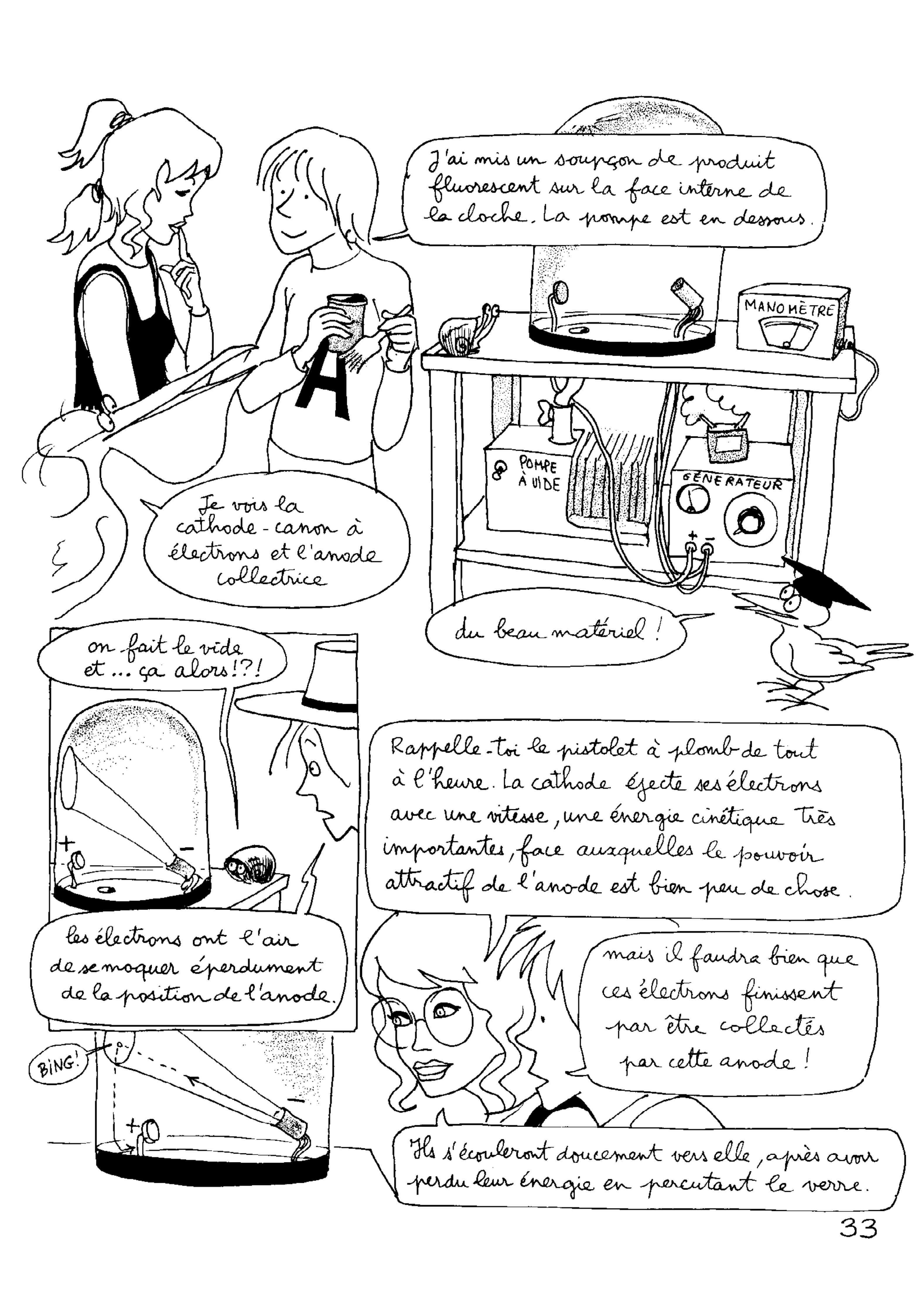
Ah oui, exactement comme quand on ouvre ou qu'on ferme un robinet.

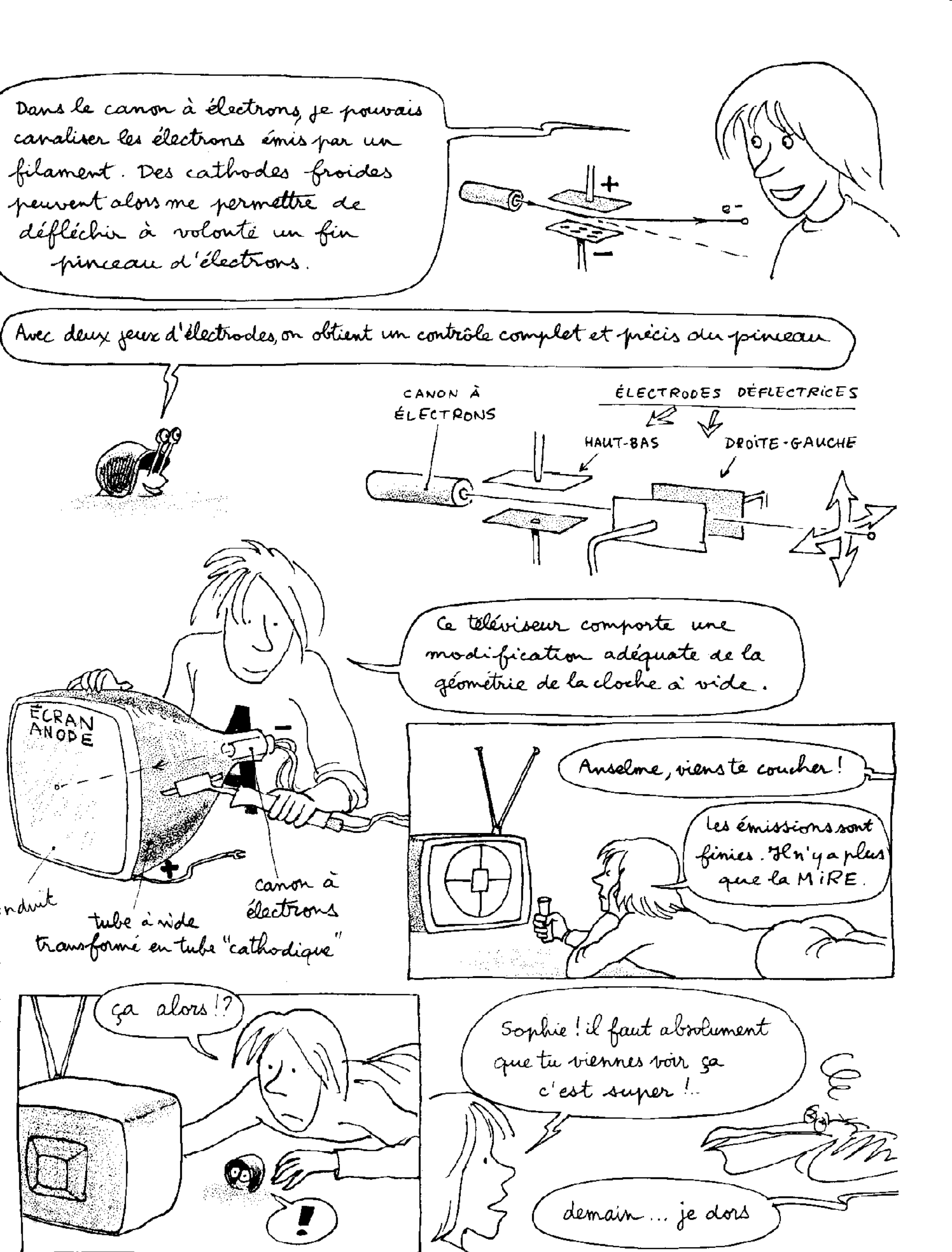


La **TRIODE**, qui a trois électrodes : sa cathode chaude, son anode collectrice et sa grille, est la base des **AMPLIFICATEURS DE COURANT**.


Alors, l'électronique ?
CRISTAL PIÉZO-ÉLECTRIQUE
+ + +
MOUVEMENT DISQUE
DIAMANT
GRAVURE DU SILLON
Tiens, tu vois, ici les faibles impulsions électriques créées par un cristal piézo-électrique, solidaire du diamant de ce bras d'électrophone, servent à moduler le courant débité par une triode amplificatrice.
Eh oui, on ne se doute pas de la complexité des lois qui sont à l'œuvre dans une cuisine, une salle de bains ou un salon.
Pour un peu, on hésiterait à se servir d'un grille-pain.
Tiens, au fait, un téléviseur, comment ça marche?
Qu'est-ce qui fait briller l'écran?
V'là autre chose.
J'arrive !


FLUORESCENCE
Certaines substances ont la propriété d'absorber le rayonnement sous certaines fréquences, et de réémettre selon d'autres.
Ah oui, la FLUORESCÉINE absorbe la lumière blanche, qui est un mélange de toutes les couleurs du prisme et a la propriété de ne réémettre que dans le vert.
Le nylon absorbe les ultra-violets et réémet dans le bleu. J'ai vu cela dans une boîte de nuit. Les gens avaient des cols de chemise tout lumineux !
Comment, Tirésias? vous allez dans les boîtes de nuit !
Le tube au néon est tapissé intérieurement d'un produit qui réagit à l'inverse de la fluorescéine. Il absorbe la lumière bleue émise par le néon et réémet de la lumière blanche.
J'ai trouvé une cloche à vide. Ça sera plus commode pour les expériences que le tube à gaz.

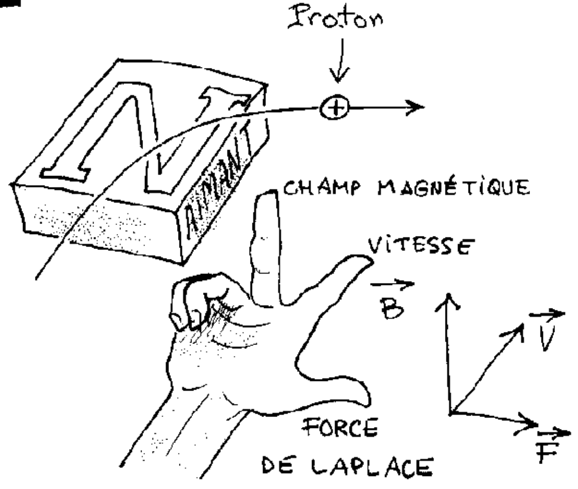

J'ai mis un soupçon de produit fluorescent sur la face interne de la cloche. La pompe est en dessous.
MANOMÈTRE
POMPE À VIDE
GÉNÉRATEUR
+ -
Je vois la cathode-canon à électrons et l'anode collectrice
du beau matériel !
on fait le vide et ... ça alors !?!
+
-
les électrons ont l'air de se moquer éperdument de la position de l'anode.
Rappelle-toi le pistolet à plomb de tout à l'heure. La cathode éjecte ses électrons avec une vitesse, une énergie cinétique très importantes, face auxquelles le pouvoir attractif de l'anode est bien peu de chose.
BING!
-
+
mais il faudra bien que ces électrons finissent par être collectés par cette anode !
Ils s'écouleront doucement vers elle, après avoir perdu leur énergie en percutant le verre.


Dans le canon à électrons, je pouvais canaliser les électrons émis par un filament. Des cathodes froides peuvent alors me permettre de défléchir à volonté un fin pinceau d'électrons.
+
e⁻
−
Avec deux jeux d'électrodes, on obtient un contrôle complet et précis du pinceau
CANON À ÉLECTRONS
ÉLECTRODES DÉFLECTRICES
HAUT-BAS
DROITE-GAUCHE
Ce téléviseur comporte une modification adéquate de la géométrie de la cloche à vide.
ÉCRAN ANODE
−
+
canon à électrons
tube à vide transformé en tube "cathodique"
Anselme, viens te coucher !
Les émissions sont finies. Il n'y a plus que la MIRE.
ça alors !?
!
Sophie ! il faut absolument que tu viennes voir ça c'est super !..
demain ... je dors


quand j'applique cet aimant sur l'écran, l'image se tord !
ça c'est le téléviseur noir et blanc. Allons voir ce que cela donne sur le téléviseur couleur.
qu'est ce qui se passe?
Oh, c'est comme d'habitude.
ça fait des irisations superbes !
quel jeu avec la couleur !
Anselme, il semble y avoir un problème??
Il reste des taches colorées sur l'écran!
Ça ne s'en va pas. Misère...
Ça me rappelle quand on avait fait de la chimie sur le tapis du salon.
Inutile d'essayer d'enlever ces taches : elles sont À L'INTÉRIEUR !
mais comment fait-on pour nettoyer l'INTÉRIEUR d'un tube de télévision ?
il faut croire qu'aujourd'hui les dieux de la science étaient contre nous.
oui, demain on y verra plus clair.



C'est simple : toute particule chargée qui déboule en coupant les lignes de force d'un champ magnétique subit une force correspondant à la **RÈGLE DES TROIS DOIGTS.**



oui, mais quand il s'agit d'électrons, chargés négativement ?

alors la force change de sens.

AIMANT

en appliquant cela au téléviseur, on voit que l'aimant vrille les trajectoires électroniques

CANON À ÉLECTRONS

$\vec{B}$

$\vec{V}$

AIMANT S

... d'où cette torsion de l'image sur l'écran.



(*) En les combinant, on peut obtenir toutes les couleurs de l'arc-en-ciel.

Bon, d'accord, l'écran est propre, mais je ne sais toujours pas comment l'énergie électrique nous parvient à domicile ni comment marche un simple batteur...



Devine. Tu as tout ce dont tu as besoin dans la maison.

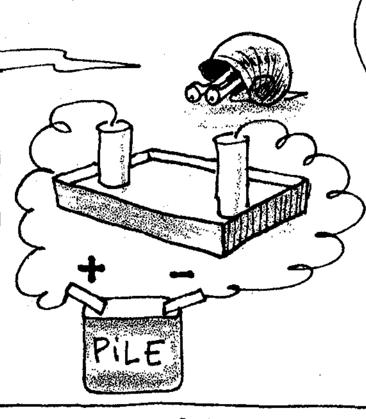
Elle en a de bonnes. Qu'est-ce que j'ai, ici ? Des aimants, du fil électrique, du sel, de l'eau. Il n'y a même pas de quoi faire une pile...



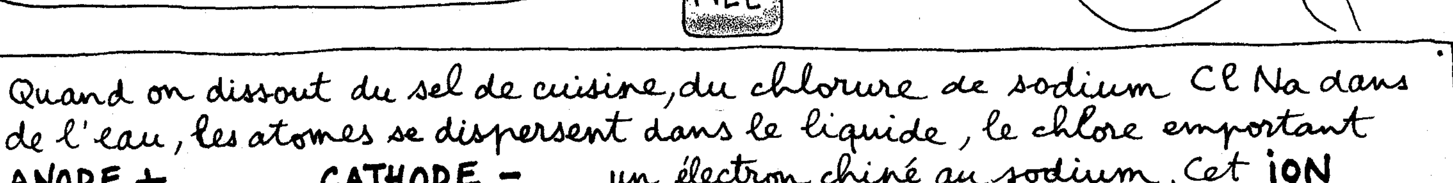
Est-ce que le courant passe dans les liquides, d'ailleurs ?

ÉLECTROLYTES

Bon. Dans les métaux, il y a un essaim d'électrons libres qui ne demandent qu'à se mouvoir. Pour se prêter au passage du courant, les gaz doivent se transformer en plasma. Mais, dans les **LIQUIDES** ?



Je suppose qu'il y des électrons libres ?



Quand on dissout du sel de cuisine, du chlorure de sodium Cl Na dans de l'eau, les atomes se dispersent dans le liquide, le chlore emportant un électron chipé au sodium. Cet **iON** chlore Cl^- migre vers l'anode, tandis que l'ion Na^+ migre vers la cathode.



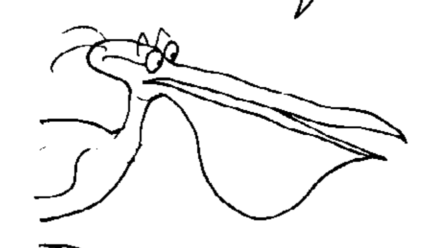
La Direction

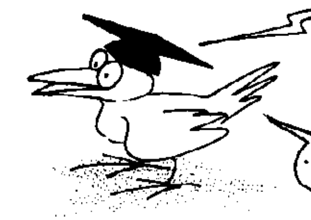
Bref, dans les liquides, le courant électrique n'est pas dû à un mouvement d'électrons libres, comme dans les métaux, mais à un **TRANSPORT D'IONS**.



Et qu'est-ce qui arrive à ces ions ? Ils pénètrent dans les électrodes ?

Non, l'ion chlore abandonne son électron à l'anode et un autre électron, émis par la cathode vient neutraliser l'ion sodium...





...et la boucle est bouclée.

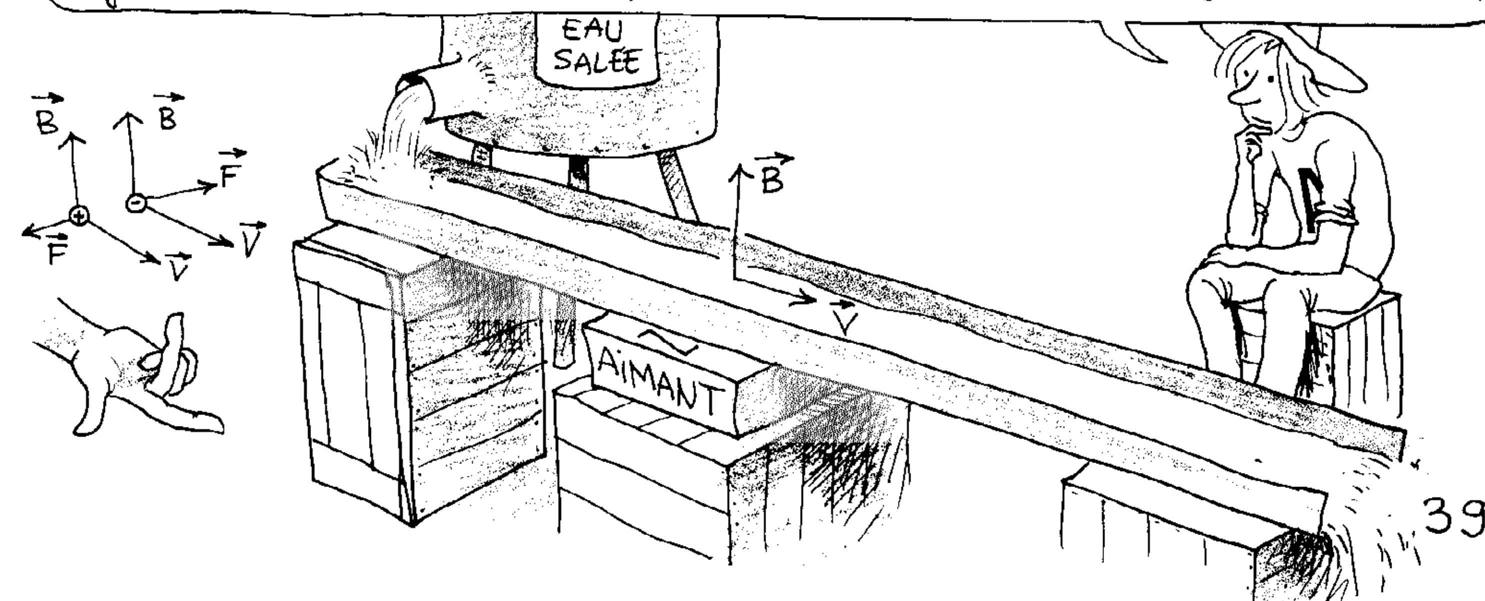
Et que fait Lanturlu pendant ce temps ?

On dirait qu'il opère un retour vers l'hydraulique.

préparons les serpillières

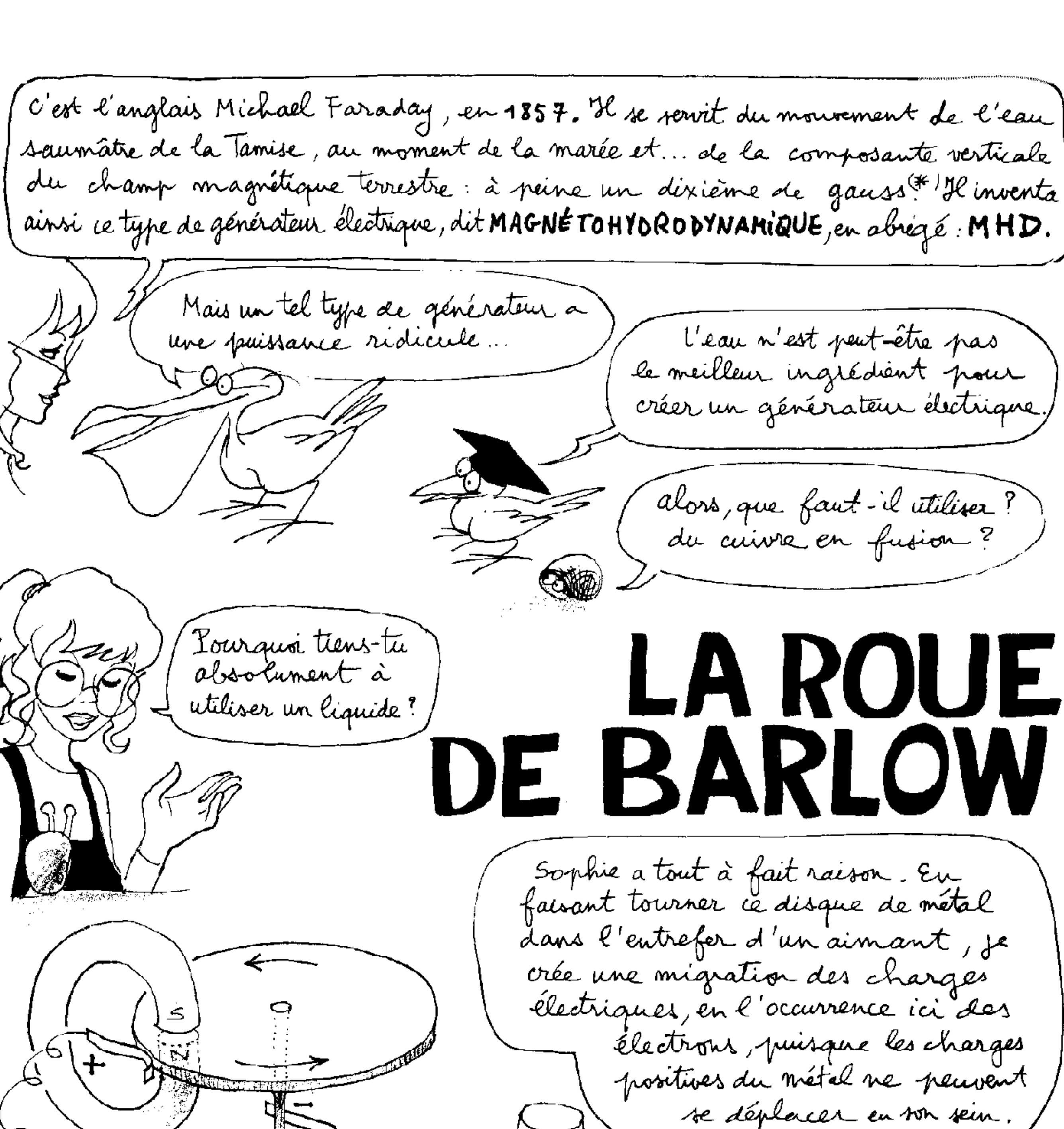
FORCE ÉLECTROMOTRICE

Sophie dit que toute charge électrique qui se déplace dans un champ magnétique subit la FORCE DE LAPLACE. Logiquement, cette force doit donc agir sur les ions Cl^- et Na^+, contenus dans de l'eau salée en mouvement.





Chlore
Sodium
Voyons. Dans un champ magnétique vertical, dirigé de bas en haut, mes ions sodium vont tourner à droite, et mes ions chlore à gauche. Je devrais donc observer une certaine séparation des charges.
C'est une vision très schématique, car dans un liquide les ions subissent un très grand nombre de collisions avec les molécules d'eau, ce qui freine beaucoup leur progression. De plus, les forces, proportionnelles à la vitesse de l'écoulement et à l'intensité du champ magnétique, restent très faibles.
Néanmoins, mon cher Max, tu es bien d'accord qu'il y a effectivement migration des espèces chargées en sens opposés. Je devrais donc observer le passage d'un courant électrique en disposant deux électrodes dans l'écoulement, sur les deux "berges", en les reliant par un fil de cuivre.
EAU SALÉE
AMPÈRES
AIMANT
Tu as raison, le courant passe !
AMPÈRES
Il n'y en a pas beaucoup, mais ça passe.
Savez-vous qui a fait le premier cette expérience ?
non...



LA ROUE DE BARLOW

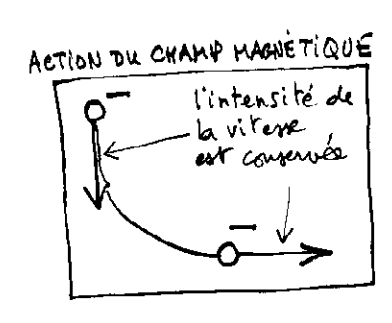
S
N
+
Ampères
flux d'électrons

Voilà donc notre premier **GÉNÉRATEUR ÉLECTRIQUE**

* Le moindre aimant de couturière fait une centaine de gauss.


Quand je déplace ce conducteur dans l'entrefer de l'aimant, je sens une certaine force, qui résiste.
Tu vois, les charges sont comme des véhicules qui suivent une autoroute, qui représente le mouvement du métal. Les charges positives sont de lourds camions incapables de tourner à droite ou à gauche, ou de changer de vitesse. Ils sont liés au flot des véhicules, liés entre eux. Les électrons sont des petits motocyclistes, qui, au départ, suivent également le flot.
Eh! tu as vu comme il m'a coupé la route!?!
pas gênés, ces électrons!
Ils me font perdre ma vitesse!!
Eh, j'ai pas que ça à faire!!
Et voilà soudain ce qui se passe!
Encore des qui s'énervent bêtement!
NOYAU DE MÉTAL
BING
ÉLECTRONS PRENDRE LA DÉVIATION
tire-toi de là eh, banane!
!!!
NOY


Voici donc, au niveau microscopique, l'explication du fait qu'il est nécessaire d'exercer une force, de fournir un TRAVAIL pour produire de l'énergie électrique.
Otez-moi d'un doute. Oublions le champ magnétique. Est-ce que je n'obtiendrais pas un freinage identique en provoquant cette dérivation latérale du flux d'électrons en direction des électrodes, mais à l'aide, cette fois, d'un champ électrique créé par un générateur?
vitesse
+
−
Force agissant sur les électrons
ANODE
CATHODE
PILE
Non, Léon, cela serait foncièrement différent.
Quand tu agis sur une charge électrique, noyée au milieu d'un flot d'atomes se déplaçant à une vitesse $\vec{V_0}$, à l'aide d'une force électrique créée par un générateur, tu lui communiques une composante transverse de vitesse $\vec{V_T}$. Mais la composante axiale $\vec{V_0}$ n'est pas modifiée. Un générateur communique donc de l'énergie aux charges électriques.
$\vec{V_0}$
ACTION DU CHAMP ÉLECTRIQUE
vitesse AXIALE : conservée
vitesse transverse : accrue
$\vec{V_T}$
$\vec{V_0}$
$\vec{V}$



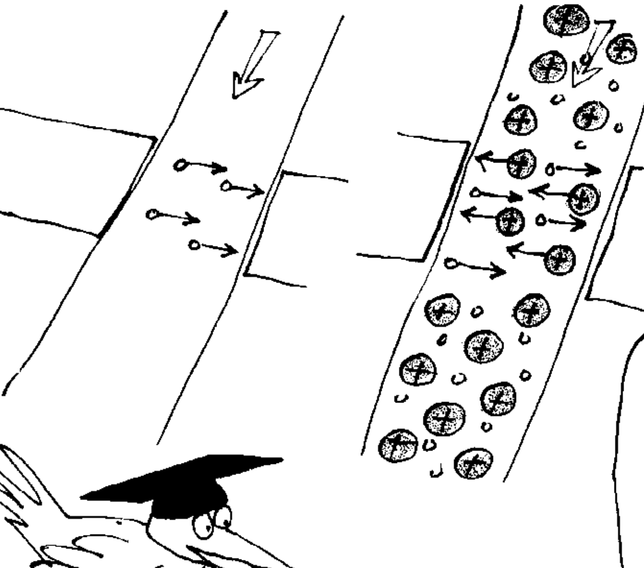
Un champ magnétique transversal, au contraire, ne modifie pas l'énergie cinétique $\frac{1}{2}mV^2$ de la particule chargée. La direction de la vitesse change mais non son intensité. Dans ce cas, la composante axiale de cette vitesse, parallèle au flux général, diminue. D'où un freinage du conducteur.



Bon, mais dans les deux cas de figure, je sollicite transversalement ma population d'électrons libres...

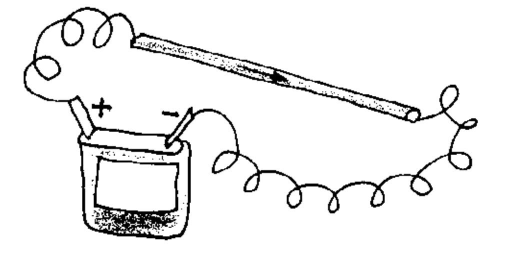
...donc je devrais observer une force transverse

Léon, tu oublies que la **FORCE DE LAPLACE** agit tout autant sur les charges positives et que ces forces se compensent...



...les charges électriques liées rigidement au conducteur transmettent cette force en permanence, alors que les charges libres retransmettent cette force périodiquement par le jeu des collisions.

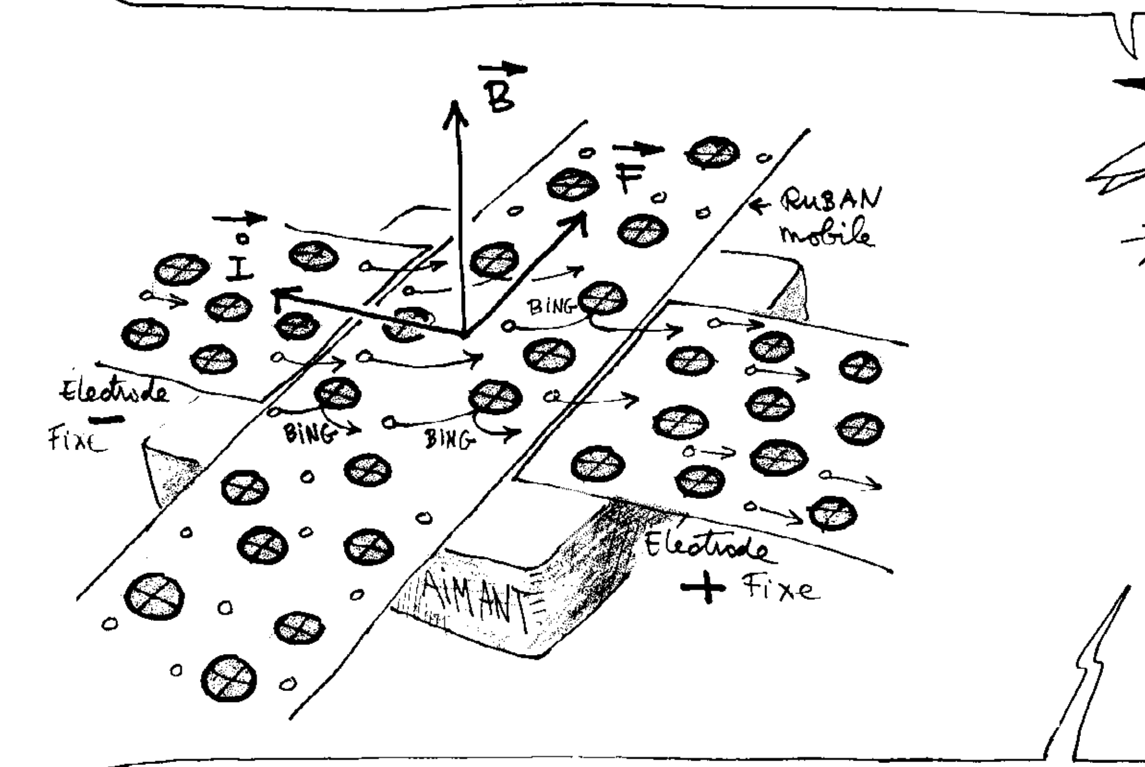
Ce qui fait que lorsque l'électricité s'écoule dans un fil, elle ne tire pas dessus.



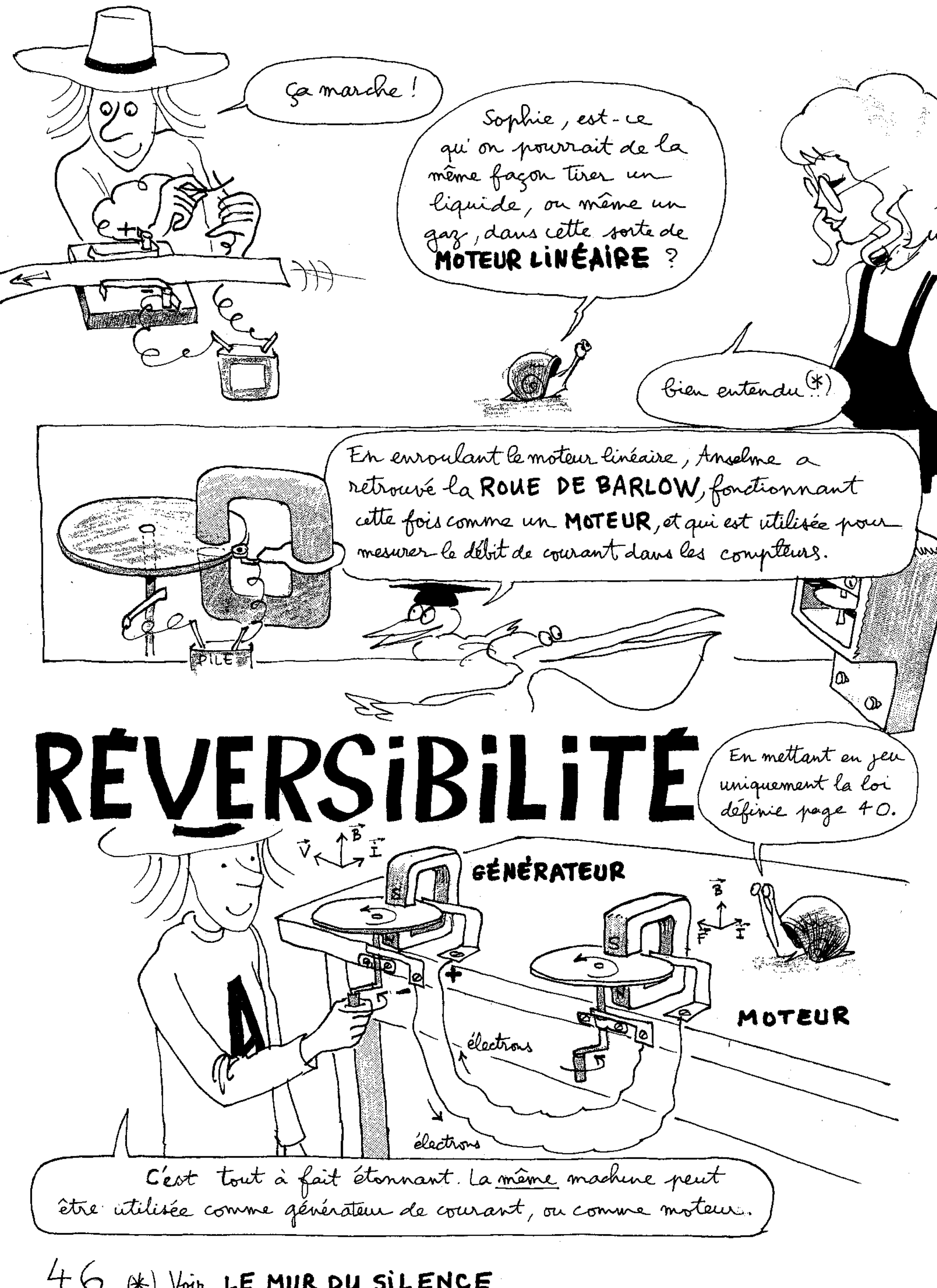
LE MOTEUR ÉLECTRIQUE

Tout cela me donne une idée. En faisant circuler un courant transversalement au ruban conducteur, je ne crée pas de force, c'est entendu, mais que se passe-t-il si je combine les deux effets : le passage du courant grâce au générateur et la rotation du vecteur vitesse due à l'effet d'un champ magnétique perpendiculaire à la vitesse de déplacement des charges ?

Le générateur va mettre en mouvement les électrons, qui vont tendre à traverser le ruban en passant de la cathode à l'anode. Mais le champ magnétique, en incurvant leur trajectoire, transmettra une partie de l'impulsion acquise selon l'axe de la bande, laquelle subira ainsi une force.



L'analyse du comportement microscopique, à l'échelle de l'atome, permet de déduire le comportement macroscopique, à l'échelle de la manip.



(*) Voir **LE MUR DU SILENCE**

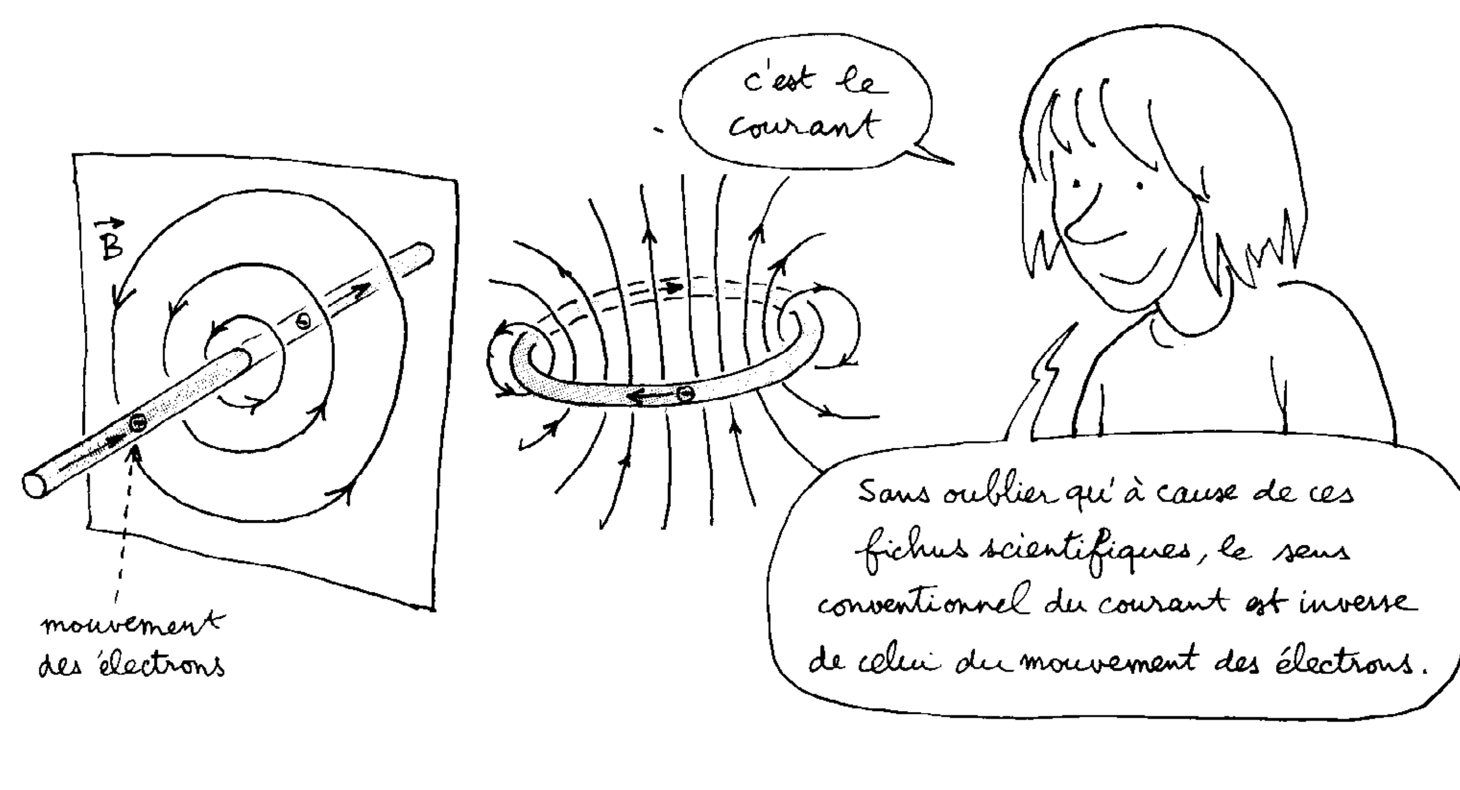

Vues sous cet angle, les machines électromagnétiques sont un moyen commo-de de transmettre de l'énergie.
A
on peut faire la même chose avec une turbine.
Voyons, en reliant les manivelles entre elles, on devrait pouvoir réaliser un MOUVEMENT PERPÉTUEL.
Léon, tu sais bien que dans des conduites, l'énergie se dissipe par suite des frottements.
Dans les conducteurs électriques, immobiles ou en mouvement, le mouvement des charges électriques s'accompagne de nombreuses collisions avec les particules non chargées.
avancez !
même en stationnement on est embêté !
un atome tout neuf vous allez voir !
tu as vu, celui-là, comme il m'a coupé la route
chéri, reste calme.
+
−
regardez cela ! mais regardez cela !
Ils traversent n'importe comment !

RELATIVITÉ



Tirésias, tu sais, il me vient une bien drôle d'idée ...
... il faut absolument que j'en aie le cœur net !
J'ai collé ces ensembles d'aimants sur ces courroies.
S
DISQUE FIXE
AIMANT ROTATIF
AIMANT MOBILE
CONDUCTEUR FIXE
Au lieu de déplacer un conducteur dans les lignes de force d'un champ magnétique (constant dans la région d'interaction), j'immobilise le conducteur et .... je fais tourner le champ !
complètement diabolique !


Regarde : je produis du courant, c'est net !
Cela veut simplement dire que, dans la FORCE DE LAPLACE, ce qui compte, c'est la vitesse des charges et de l'aimant L'UN PAR RAPPORT À L'AUTRE.
LES AIMANTS
Sophie, qu'est-ce que c'est qu'un CHAMP MAGNÉTIQUE ?
La bonne question serait : A QUOI ÇA SERT ?
Comment, à quoi ça sert ?
Deux charges électriques au repos s'attirent ou se repoussent, selon qu'elles sont de signes contraires ou de même signe.
Et elles subissent aussi une force quand elles se meuvent par rapport aux lignes de force d'un champ magnétique.
D'accord, mais qu'est-ce qui crée ce champ magnétique ?



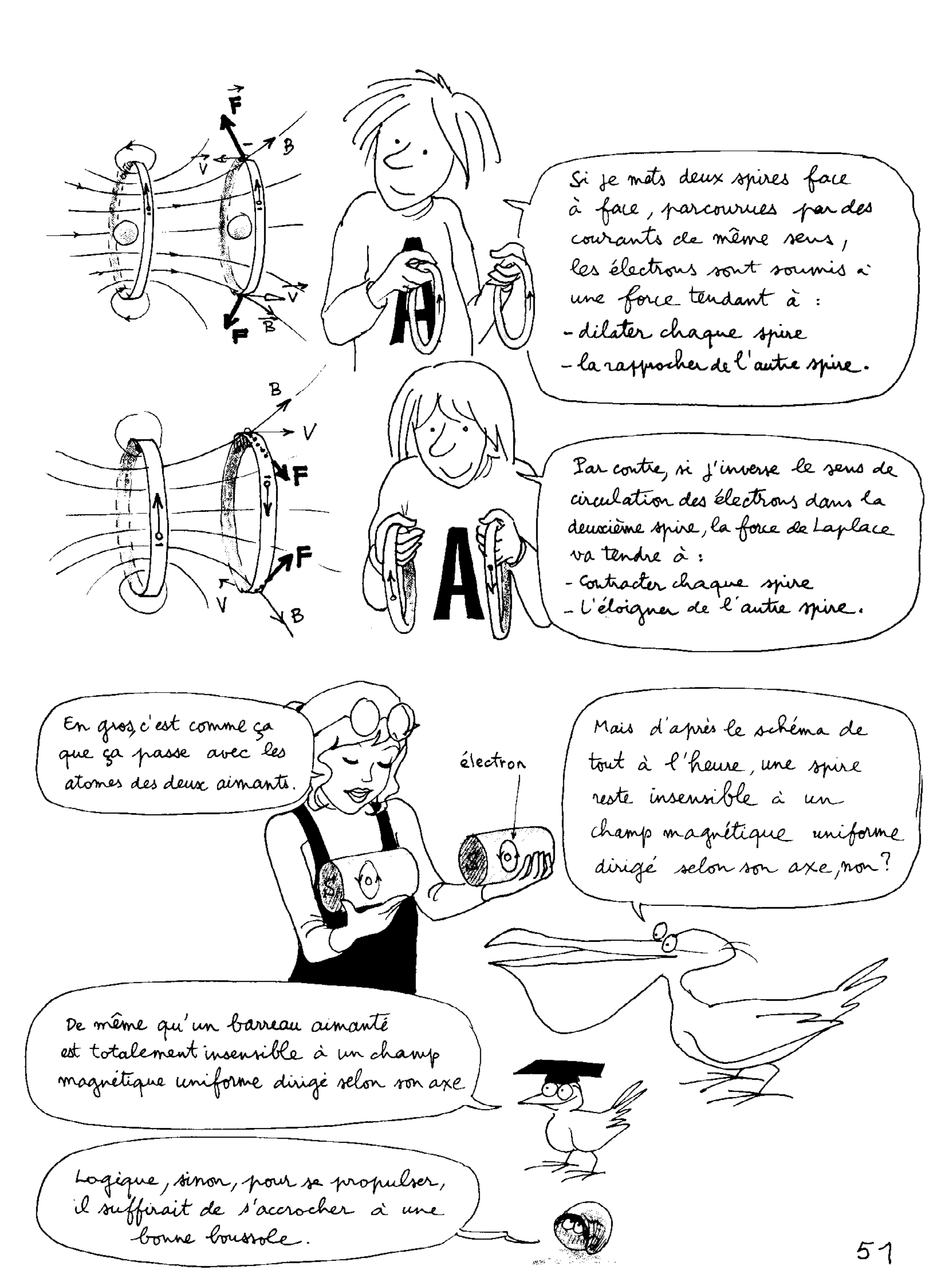
Mais il n'y a pas de courant dans un aimant permanent ?

Chaque atome peut être considéré comme un aimant minuscule, dont le champ magnétique est créé par le mouvement orbital des électrons autour du noyau. Dans un aimant permanent ces mini-aimants sont parallèles entre eux

N

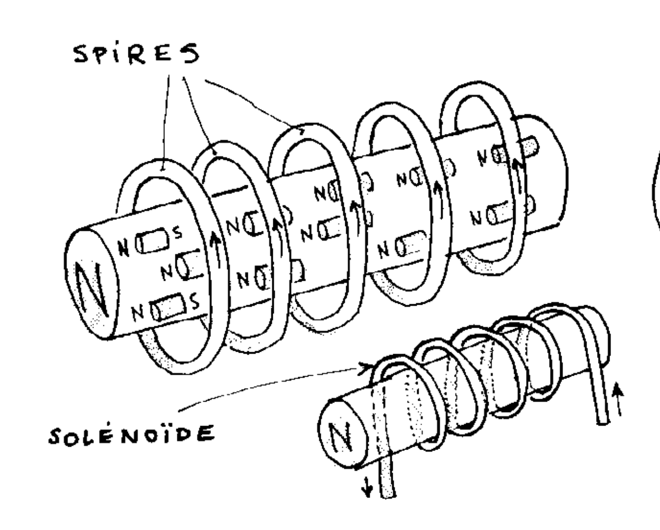
S

Bon, les aimants agissent sur les charges électriques en mouvement qui coupent les lignes de force du champ magnétique qu'ils créent. Mais pourquoi agissent-ils l'un sur l'autre ?


F
B
V
V
B
F
Si je mets deux spires face à face, parcourues par des courants de même sens, les électrons sont soumis à une force tendant à :
- dilater chaque spire
- la rapprocher de l'autre spire.
B
V
F
F
V
B
Par contre, si j'inverse le sens de circulation des électrons dans la deuxième spire, la force de Laplace va tendre à :
- contracter chaque spire
- l'éloigner de l'autre spire.
En gros, c'est comme ça que ça passe avec les atomes des deux aimants.
électron
Mais d'après le schéma de tout à l'heure, une spire reste insensible à un champ magnétique uniforme dirigé selon son axe, non?
De même qu'un barreau aimanté est totalement insensible à un champ magnétique uniforme dirigé selon son axe
Logique, sinon, pour se propulser, il suffirait de s'accrocher à une bonne boussole.



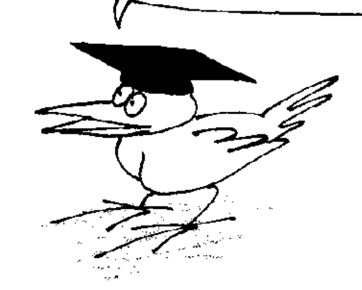
Par contre, une spire placée dans un champ magnétique tend à tourner de telle façon que son propre champ s'aligne avec le premier. C'est le principe du GALVANOMÈTRE À CADRE MOBILE. Une boussole n'est rien d'autre qu'un ensemble de minuscules galvanomètres du même style.
Pile
Bon. Alors, est-ce que quelqu'un peut m'expliquer pourquoi un aimant attire le fer et non le plomb, ou le sucre ?
C'est simple : les atomes de fer sont aussi de petits aimants. De plus, ils jouissent d'une relative mobilité. Quand on rapproche un aimant suffisamment puissant, les atomes de fer tournent et s'alignent et le morceau de fer devient lui-même un aimant, dont le champ se superpose d'ailleurs au champ de l'aimant inducteur.
Atomes "Aimants" (orientations aléatoires)
AIMANT
Atomes "Aimants" orientés
le morceau de fer est devenu un aimant
Avec le sucre, zéro
vu...



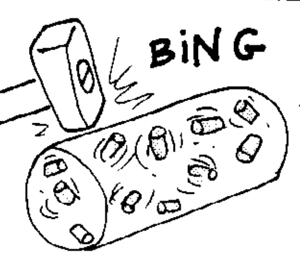
Je comprends pourquoi on met un NOYAU DE FER dans les ÉLECTRO-AIMANTS. Celui-ci renforce le champ propre créé par le système de spires.

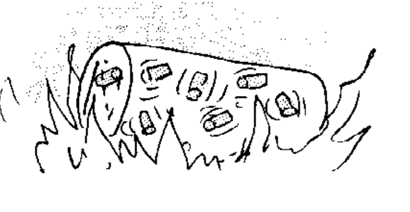


Quand on retire l'aimant magnétiseur ou le solénoïde, les atomes-aimants du fer gardent, dans une certaine mesure, leur orientation. Il subsiste un **MAGNÉTISME RÉSIDUEL**...



... que l'on pourra faire disparaître en redonnant leur mobilité aux atomes-aimants, en chauffant le fer, en le frappant, ou en le soumettant à un champ magnétique variable, comme je l'avais fait pour les pigments du tube de télévision, qui avaient été accidentellement magnétisés, à l'aide d'un petit aimant fixé sur un crayon





Je crois avoir compris:
Le champ magnétique est quelque chose qui a été inventé pour traduire le fait que les charges électriques **EN MOUVEMENT** interagissaient, et que cette force nouvelle, électrodynamique, ou électromagnétique, se surajoutait à la force de base, électrostatique

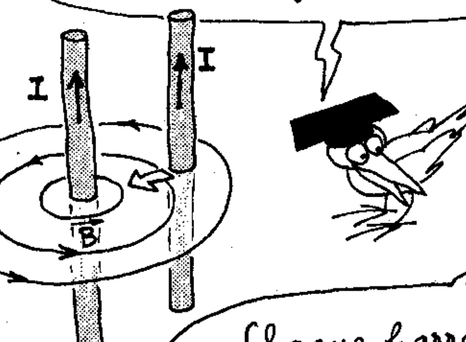


DE NOUVEAU LA RELATIVITÉ

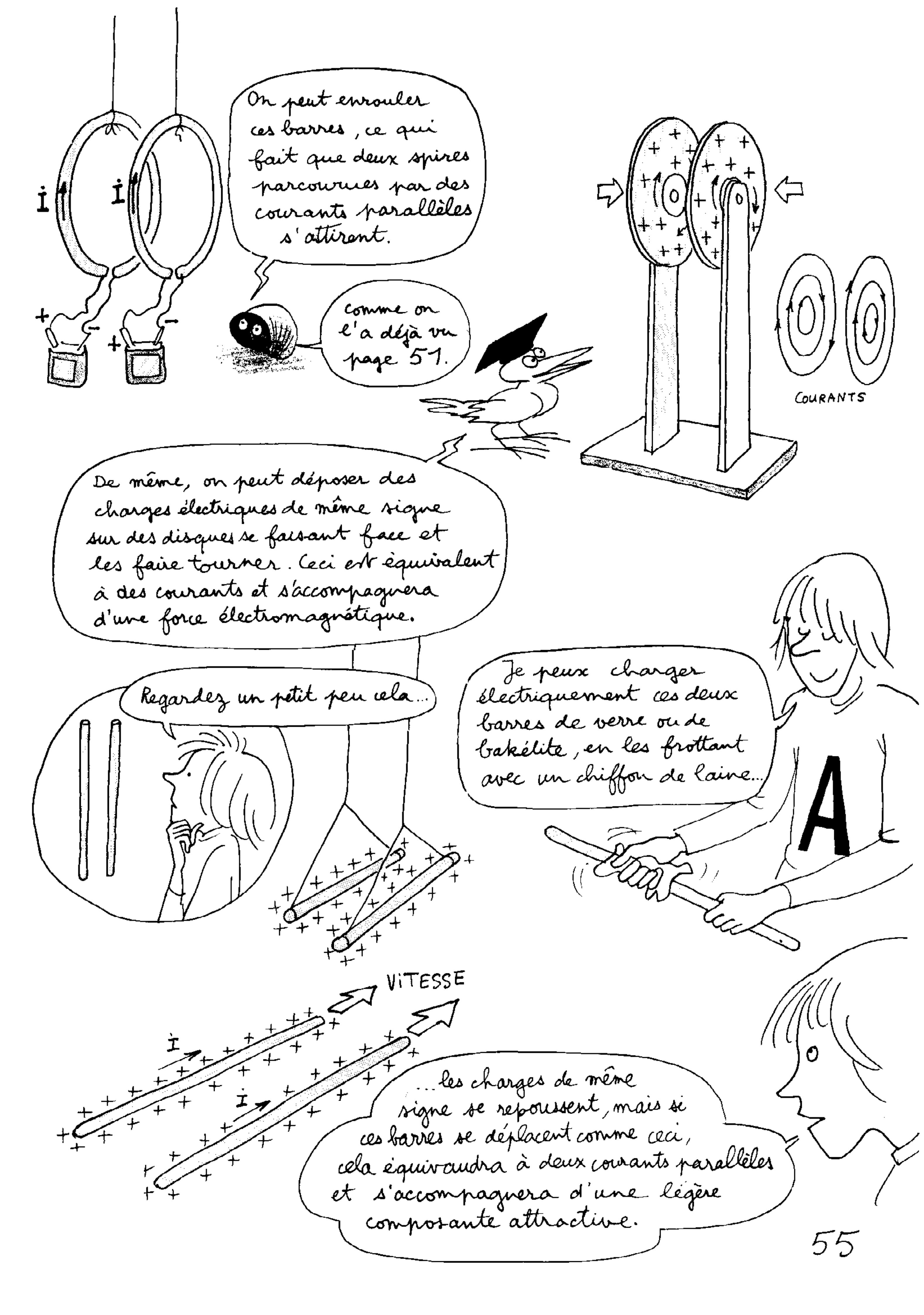
Comment mesurer un champ magnétique le plus objectivement possible ?

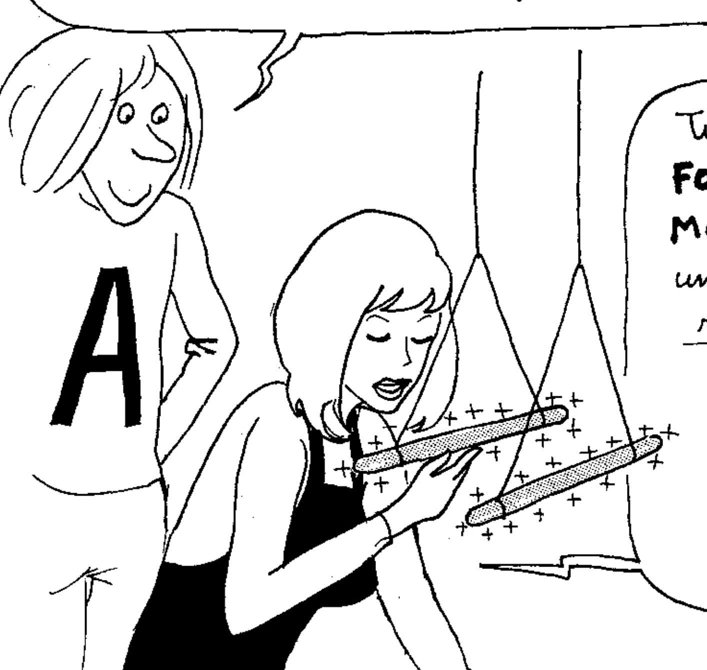
Eh bien on peut disposer parallèlement deux barres parcourues par le même courant électrique, d'intensité **I**.

Dans ces conditions, les deux barres subissent une attraction mutuelle égale.



Chaque barre combine son propre courant avec le champ magnétique créé par l'autre barre.


I
I
On peut enrouler ces barres, ce qui fait que deux spires parcourues par des courants parallèles s'attirent.
comme on l'a déjà vu page 51.
COURANTS
De même, on peut déposer des charges électriques de même signe sur des disques se faisant face et les faire tourner. Ceci est équivalent à des courants et s'accompagnera d'une force électromagnétique.
Regardez un petit peu cela...
Je peux charger électriquement ces deux barres de verre ou de bakélite, en les frottant avec un chiffon de laine...
A
VITESSE
I
I
...les charges de même signe se repoussent, mais si ces barres se déplacent comme ceci, cela équivaudra à deux courants parallèles et s'accompagnera d'une légère composante attractive.







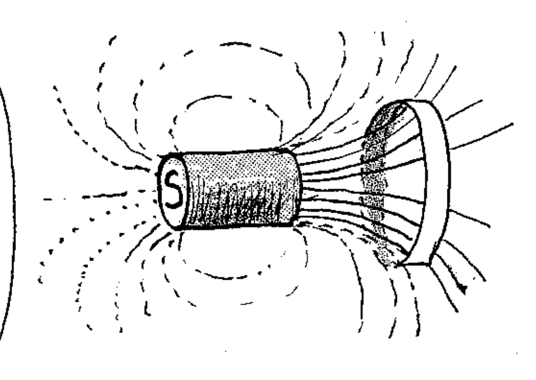
(*) Michelson, physicien américain. Prix Nobel 1907.


Ainsi une simple maison peut receler des problèmes de nature relativiste !
Ah, voilà un objet qui, de toute évidence fonctionne à l'électricité. Pourtant il n'y a rien qui tourne et pas d'électrodes ...
à quoi ça sert ?
Tirésias, sors de là immédiatement !
pourquoi ?
Ce système permet de transmettre de l'énergie à distance. S'il s'était mis en marche tout seul tu aurais été cuit par induction.
cuit par induction ?

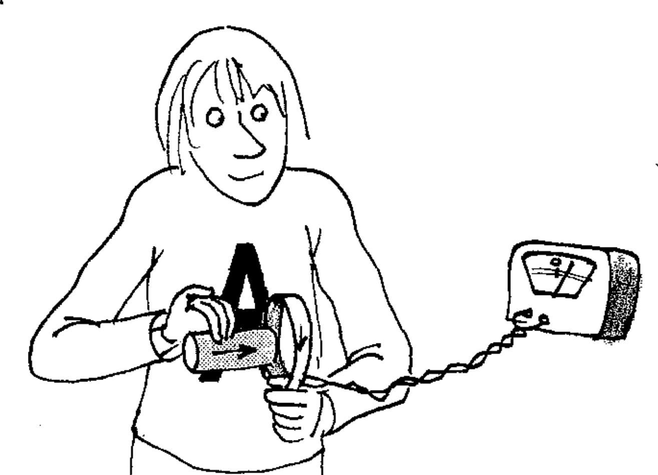
L'INDUCTION

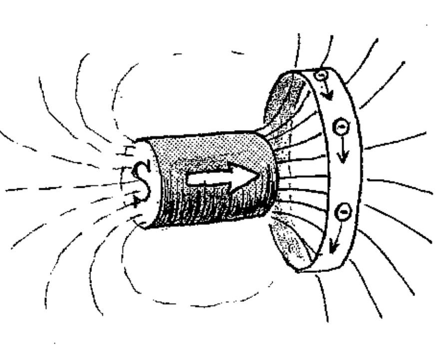


Regarde. Anselme a mis cette spire de cuivre face à cet aimant permanent. Un certain nombre de lignes de force passent à l'intérieur et les autres à l'extérieur







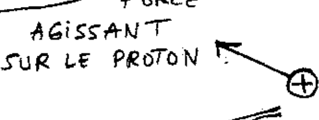


Maintenant il approche l'aimant de la spire, c'est-à-dire qu'il déplace en bloc le faisceau des lignes de force. Celles-ci coupent le métal de la spire et il en résulte une force électromagnétique qui, agissant sur les électrons, se traduit par un courant **INDUIT**.

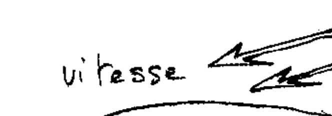
Si ton aimant et ta spire sont immobiles l'un par rapport à l'autre, le courant s'annule.

champ magnétique

FORCE AGISSANT SUR LE PROTON



vitesse



FORCE AGISSANT SUR L'ÉLECTRON

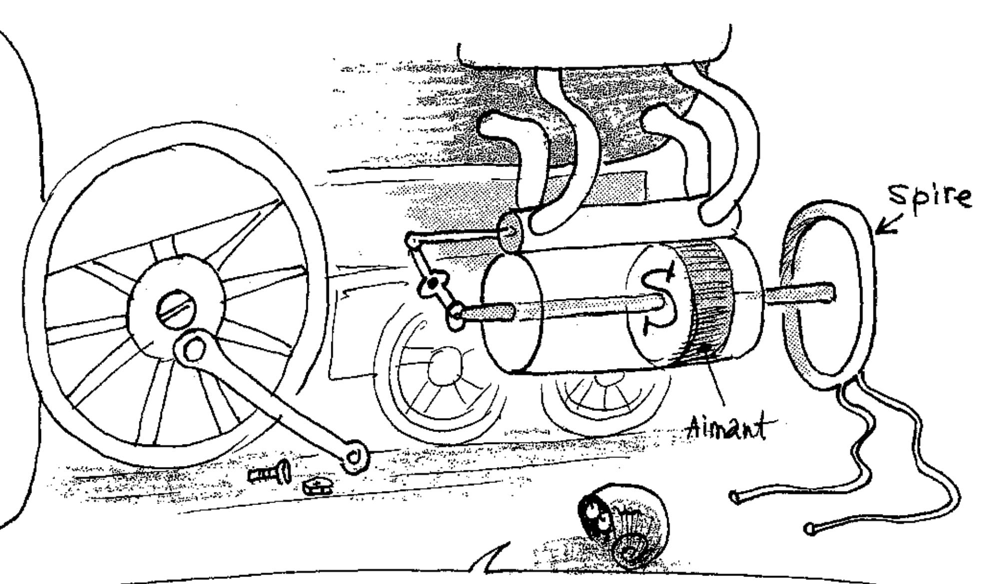


par contre, si tu tires sur l'aimant, ton courant s'inverse.

Encore une n+unième application de cette unique loi de LAPLACE.

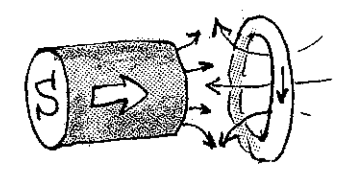


Regarde, Tirésias, j'ai modifié cette machine à vapeur en remplaçant le piston par un aimant, qui va ainsi faire un mouvement de va-et-vient, et créer dans la spire un **COURANT ALTERNATIF**



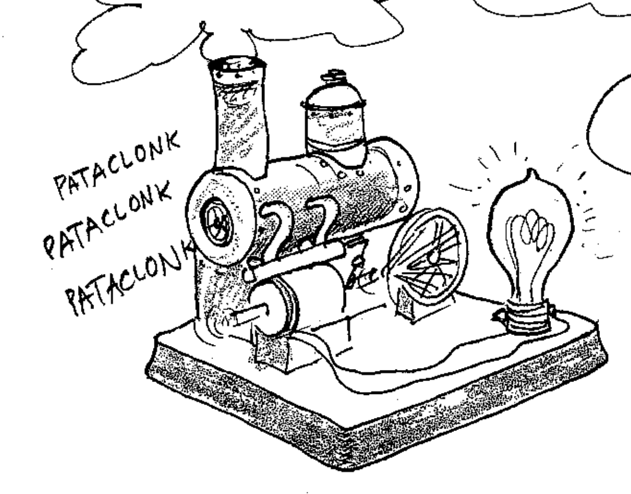


Si le piston glisse sans frottement, nous aurons trouvé un moyen de produire gratuitement de l'énergie électrique, si on excepte, bien sûr une petite perte par effet Joule dans la spire.

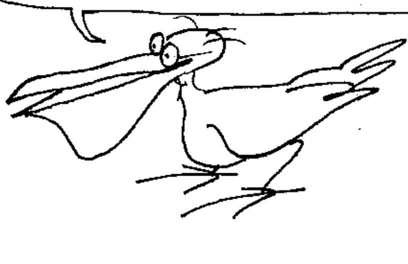


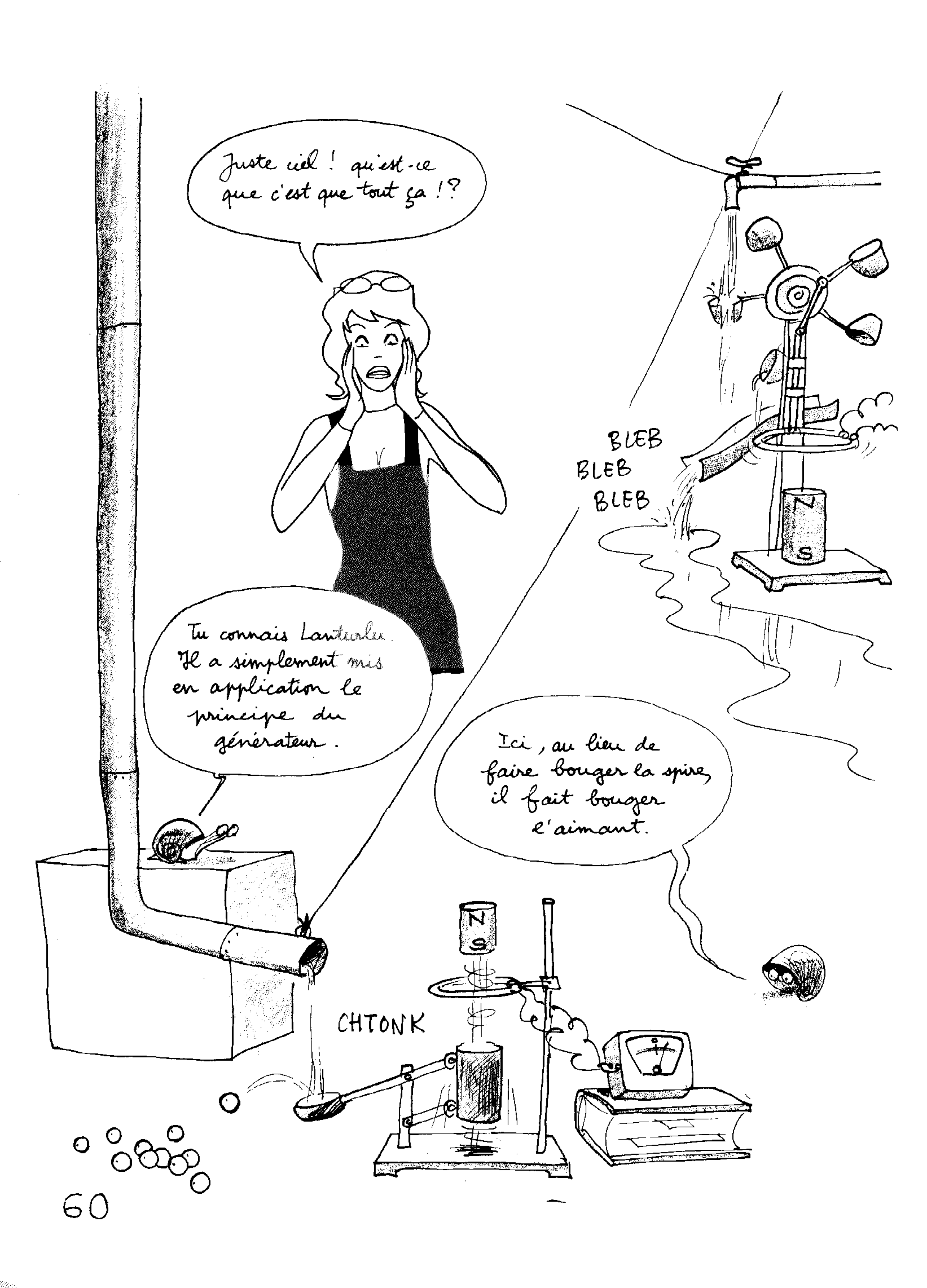


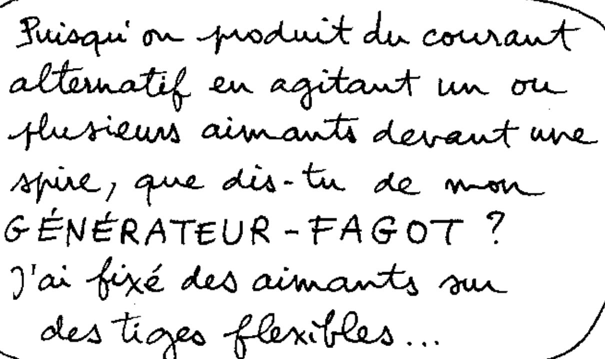
Tu oublies que ce passage de courant va créer son propre champ magnétique, qui va s'opposer au mouvement du piston aimant (**LOI DE LENZ**). Il faudra donc fournir un **TRAVAIL** pour produire cette énergie

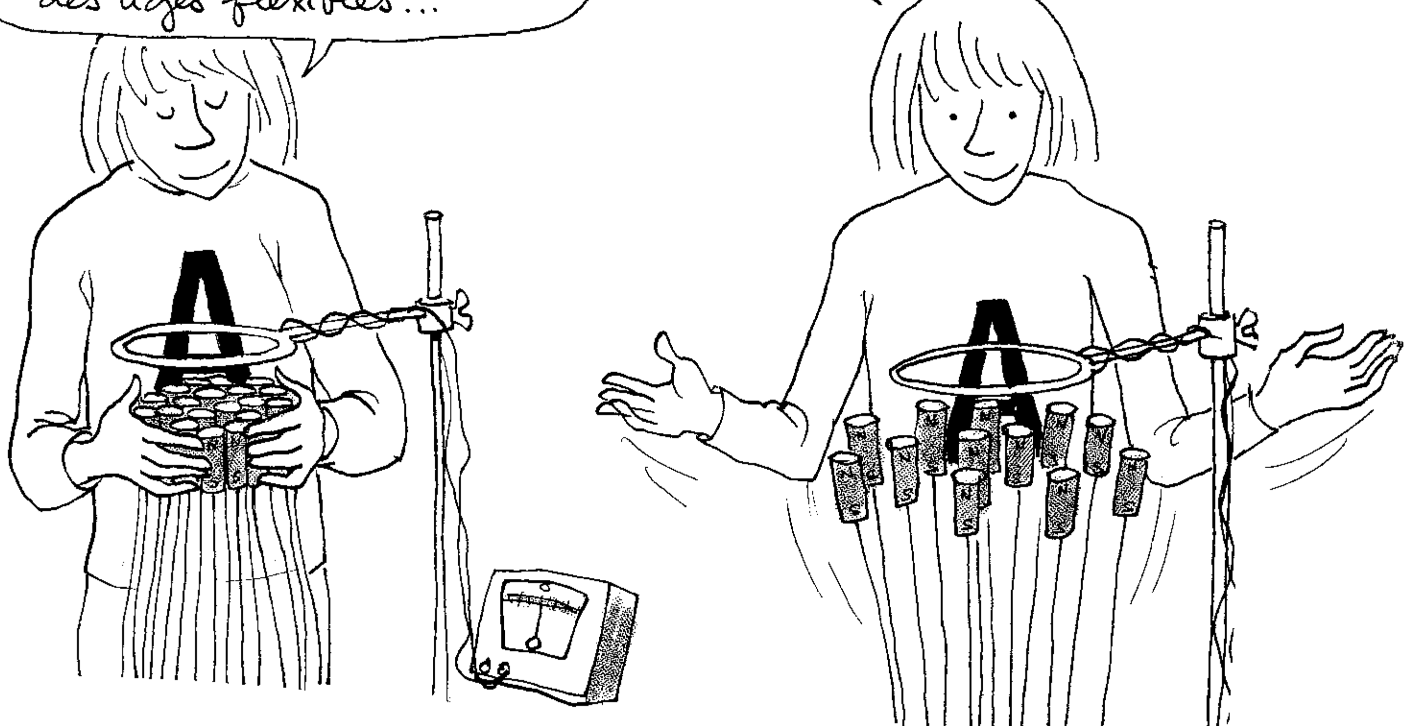


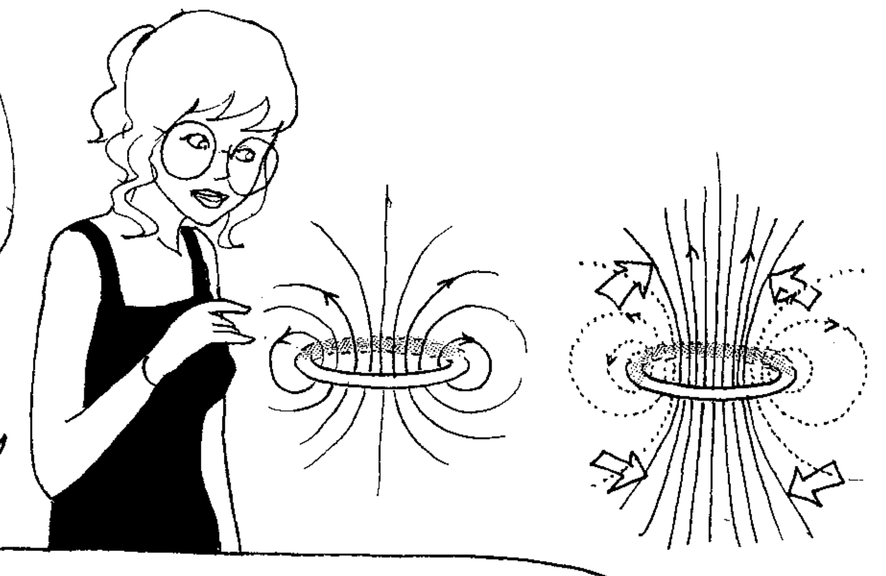
Voici donc une première génératrice de courant alternatif.




Juste ciel ! qu'est-ce que c'est que tout ça !?
BLEB
BLEB
BLEB
Tu connais Lanturlu. Il a simplement mis en application le principe du générateur.
Ici, au lieu de faire bouger la spire, il fait bouger l'aimant.
N
S
N
S
CHTONK


Puisqu'on produit du courant alternatif en agitant un ou plusieurs aimants devant une spire, que dis-tu de mon GÉNÉRATEUR-FAGOT ? J'ai fixé des aimants sur des tiges flexibles...
...quand je les lâche, ces tiges s'écartent et se rassemblent alternativement, et cela produit un courant alternatif dans la spire.




Bon. Cette machine convertit en énergie électrique l'énergie emmagasinée dans les tiges, et alors ?
Elle reproduit ce qui se passe quand on accroît le courant qui passe dans une spire. Tout se passe comme si de nouvelles lignes de force étaient créées à la surface de celle-ci, "comprimant" les anciennes, comme un fagot.

Et vice versa. Quand on réduit le courant, la spire "avale" les lignes de champ les unes après les autres, et le "fagot" se desserre.

Accu

RHEOSTAT
Faible → Fort

Hop!

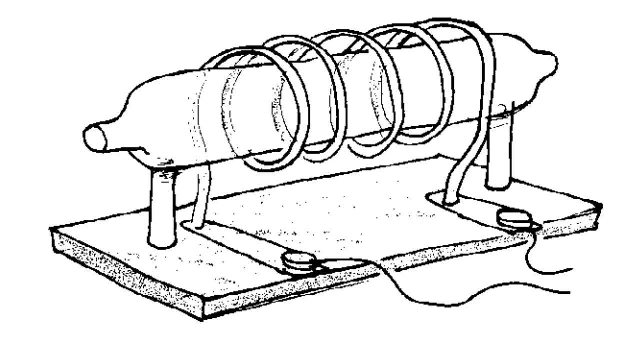
Ce qui explique pourquoi une spire parcourue par un courant alternatif peut transmettre à distance de l'énergie à une autre spire.

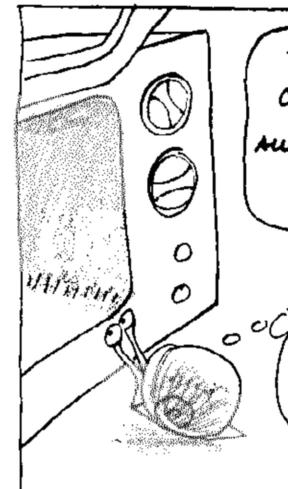
RHEOSTAT
Faible → Fort

CHAUFFAGE HF



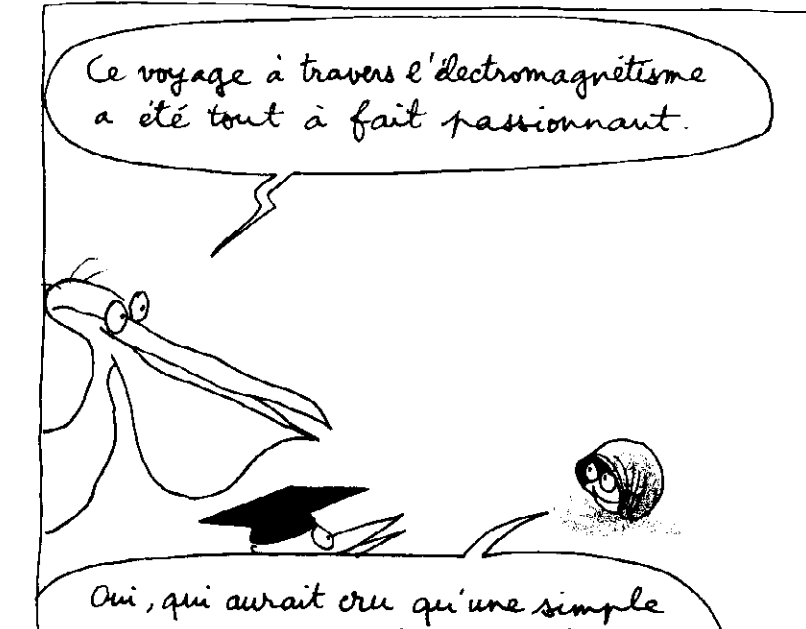

on peut aussi chauffer un gaz à l'aide d'un bobinage parcouru par un courant à haute fréquence...




bref on peut chauffer, cuire tout ce qui est suffisamment conducteur de l'électricité...
qu'y a-t-il de si mystérieux dans cette grande boîte vide ?


...y compris des escargots !

ÉPILOGUE


Ce voyage à travers l'électromagnétisme a été tout à fait passionnant.
Oui, qui aurait cru qu'une simple maison puisse receler des problèmes scientifiques aussi pointus ?


J'ai une autre expérience à vous proposer, qui touche à la fois à l'électromagnétisme et à la mécanique des fluides...
Ah bon, qu'est-ce que c'est ?



FiN